

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ/PROARQ

JORGE CRESO CUTRIM DEMÉTRIO

CUSTO AMBIENTAL AGREGADO À EDIFICAÇÃO: A Emissão de Carbono no uso do Concreto Armado a partir de um estudo de caso em São Luís - MA

Rio de Janeiro
2011

JORGE CRESO CUTRIM DEMÉTRIO

CUSTO AMBIENTAL AGREGADO À EDIFICAÇÃO: A emissão de Carbono no uso do Concreto Armado a partir de um estudo de caso em São Luís - MA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica Santos Salgado

Rio de Janeiro
2011

Demetrio, Jorge Creso Cutrim.

Custo ambiental agregado à edificação: A Emissão de Carbono no uso do Concreto Armado a partir de um estudo de caso em São Luís - MA./Jorge Creso Cutrim Demetrio__ Rio de Janeiro (RJ): UFRJ/ FAU, 2011.

161 fls lls..

Orientador: Mônica Santos Salgado.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2011.

Referências bibliográficas: fl. 129 – 140.

1. Sustentabilidade; Construção Civil; Insumos; Ciclo de Vida. I
Título.

JORGE CRESO CUTRIM DEMÉTRIO

CUSTO AMBIENTAL AGREGADO À EDIFICAÇÃO: A emissão de Carbono no uso do Concreto Armado a partir de um estudo de caso em São Luís - MA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA EM: / /

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mônica Santos Salgado
Orientadora

Profa. Dra. Cláudia Barroso-Krause

Prof. Dr. Marcos Martinez Silvoso

Prof. Dra. Ana Catarina Jorge Evangelista

Dedicada ao padroeiro dos que
vivem no Maranhão, São José
de Ribamar.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus, Todo Poderoso, por conduzir-me nesta jornada com sua sabedoria e humildade.

Aos meus filhos, pelos momentos de alegria, harmonia e amor, sem os quais seria impossível concluir mais esta jornada.

A minha esposa, Jaqueline, pelo apoio e paciência nos momentos de dificuldades.

A minha mãe, Célia, pelos primeiros ensinamentos que me acompanham por toda a vida.

Ao meu irmão, Fernando, pelo apoio no desenvolvimento deste estudo.

A professora, Dra. Mônica Santos Salgado, por disponibilizar-se a orientar-me neste trabalho.

A CANOPUS, pela oportunidade de realização deste estudo.

A todos que, de forma indireta ou direta, contribuíram para o êxito deste estudo.

RESUMO

O trabalho tem por finalidade, apresentar os impactos gerados pela emissão de CO₂e ao meio ambiente, que não são considerados nas fases de alocação dos recursos para uma construção, o que se chama de custo ambiental agregado. A motivação para a pesquisa se deu devido a uma falta de modelo definido para determinar os impactos gerados pelos materiais usados em uma obra, bem como, a necessidade que se tem em buscar formas de minimizar esses danos. A partir da análise de um orçamento, combinado com metodologia desenvolvida pela equipe CentroClima da Universidade Federal do Rio de Janeiro, apresenta a emissão de CO₂e para a produção do concreto armado usado para construções residenciais, demonstrando a emissão de carbono nos processos de extração, transformação e transporte dos insumos e produção e lançamento do concreto. A pesquisa apresentou o valor do impacto ambiental, especificamente gerado no processo de construção da edificação. Os resultados nos levaram ao valor de 441,53kg de CO₂e emitidos para cada metro cúbico de concreto armado.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Construção Civil; Insumos; Ciclo de Vida.

ABSTRACT

The work has for purpose to present the impacts generated to the environment by the emission of CO₂e that are not considered in the allocation phases of the resources for the construction, what is called the aggregate environmental costs. The motivation for the research was due to the lack of a defined model to determine the impacts generated by materials used in a workmanship, as well as the need that one has to minimize these damages. From the analysis of a budget, combined with the methodology developed by the team Centroclima of the Federal University of Rio de Janeiro, it presents the issue of CO₂e for the production of reinforced concrete used for residential construction, showing the carbon in the processes of extraction, processing and transportation of inputs and production and launch of the concrete. The research showed the value of environmental impact, specifically generated in the construction of the building. The results led us to a value of 441.53 kg CO₂e emitted for each cubic meter of concrete.

Word's key: Sustainability. Construction. Inputs. Life Cycle.

SUMÁRIO

	FICHA CATALOGRÁFIA	ii
	DEDICATÓRIA	iv
	AGRADECIMENTOS	v
	RESUMO	vi
	ABSTRACT	vii
	SUMÁRIO	viii
	LISTA DE TABELAS	x
	LISTA DE QUADROS	xi
	LISTA DE FIGURAS	xii
	LISTA DE GRÁFICOS	xiii
	LISTA DE MAPAS	xiv
	LISTA DE SIGLAS	xv
	INTRODUÇÃO	1
1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL	4
1.1	Agenda 21 e o Compromisso com a Sustentabilidade	10
1.2	A Agenda 21 no Brasil	12
1.3	Agenda 21 para a construção sustentável	14
1.4	Mudanças climáticas e o mercado de carbono	18
1.5	Políticas públicas para o desenvolvimento sustentável em São Luís – MA	23
1.6	Metodologias para Certificação Ambiental	26
1.7	Considerações sobre o capítulo	30
2	A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL	32
2.1	Sistemas de gestão da qualidade na construção civil	36
2.2	Evolução da construção em concreto armado no Brasil	40
2.3	Financiamento habitacional incentivando a construção civil brasileira	42
2.4	Caracterização dos custos da construção com uso do concreto armado	44
2.5	Componentes do concreto armado	51
2.6	Considerações sobre o capítulo	55
3	CONSUMO DE INSUMOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	57
3.1	Emissão de carbono no ciclo de vida do concreto armado	62
3.1.1	Emissão de carbono no ciclo de vida do aço para concreto armado	67
3.1.2	Emissão de carbono no ciclo de vida da areia para concreto armado	72

3.1.3	Emissão de carbono no ciclo de vida da brita para concreto armado	73
3.1.4	Emissão de carbono no ciclo de vida do cimento para concreto armado	77
3.1.5	Emissão de carbono no ciclo de vida da água para concreto armado	82
3.1.6	Transporte dos insumos	82
3.1.7	Produção e lançamento do concreto armado	85
3.2	Valores para compensação de emissões de CO₂e	88
3.3	Considerações sobre o capítulo	89
4	ESTUDO DE CASO	92
4.1	Definição do estudo de caso	92
4.2	Descrição da obra	101
4.3	Dimensionamento da quantidade de insumos que compõem o concreto	104
4.4	Cálculo da emissão de carbono por m³ concreto armado	105
4.4.1	Emissão de CO ₂ e referente ao aço para o concreto armado.....	105
4.4.2	Emissão de CO ₂ e referente a areia para o concreto armado	107
4.4.3	Emissão de CO ₂ e referente a brita para o concreto armado.....	109
4.4.4	Emissão de CO ₂ e referente ao cimento para o concreto armado	110
4.4.5	O Ciclo de Vida da Água.....	112
4.4.6	A Emissão no Transporte sem Carga.....	113
4.4.7	A emissão no ciclo de vida do concreto armado.....	114
4.5	Análise dos resultados obtidos	119
5	CONCLUSÃO	123
	REFERÊNCIAS	129
	ANEXOS.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Produção Mundial de Resíduos na Construção Civil	17
Tabela 2	Desperdício na Construção Civil Brasileira.....	35
Tabela 3	Emissão de CO ₂ e X uso de equipamentos por hora	67
Tabela 4	Emissão de CO ₂ e X uso de equipamentos por 1kg de aço ...	70
Tabela 5	Emissão de CO ₂ e X Uso de equipamentos por 1kg de brita extraída	74
Tabela 6	Emissão de CO ₂ e X Uso de equipamentos por 1kg de brita transformada	76
Tabela 7	Emissão de CO ₂ e X Uso de equipamentos para 1kg de cimento extraído	78
Tabela 8	Emissão de CO ₂ e X Uso de equipamentos para 1m ³ de concreto	87
Tabela 9	Total de unidades residenciais lançadas	94
Tabela 10	Ofertas por nº de quartos X Quantidade de elevadores	95
Tabela 11	Lançamentos totais por bairro	96
Tabela 12	Emissão de CO ₂ e X Produção de 1m ³ concreto	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Partes da ABNT NBR ISO 14064	22
Quadro 2	Tipos de Cimento Portland	52
Quadro 3	Capacidade e Potência de equipamentos de mineração por fabricante	64
Quadro 4	Ofertas Totais - Julho/05 a Maio/09 - Em unidades habitacionais	94
Quadro 5	Quadro 5 – Condomínios residenciais registrados no CREA no ano de 2009 - Bairro Turu	97
Quadro 6	Unidades por construtora / Abril – 2009	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Imperativos e conflitos dos âmbitos social, ambiental e econômico para o desenvolvimento sustentável	7
Figura 2	Natureza dos impacto ligados aos edifícios	29
Figura 3	Ciclo de Vida do Concreto	59
Figura 4	Fluxograma do ciclo do concreto produzido na obra	61
Figura 5	Emissões médias de CO ₂ e por tonelada de cimento.....	80
Figura 6	Bairro Turu	96
Figura 7	Condomínio Village das Palmeiras	101
Figura 8	Prédio Projeto de Interesse Social, Armação da segunda laje.	102
Figura 9	Obra concluída	102
Figura 10	Bloco concluído	103

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Créditos de Carbono Negociados 2004/2005	21
Gráfico 2	Percentual do uso dos insumos por m ² no PIS	50
Gráfico 3	Unidades por construtora	98
Gráfico 4	Empreendimentos por Unidade	100
Gráfico 5	Emissão de CO ₂ e no uso do concreto armado (kg)	118
Gráfico 6	Emissão por processo (kg)	120

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 – DISTÂNCIA EM ESTRADA ENTRE OS MUNICÍPIOS DE SÃO LUÍS E ROSÁRIO	108
MAPA 2 – DISTÂNCIA EM ESTRADA ENTRE OS MUNICÍPIOS DE SÃO LUÍS E CODÓ	111

LISTA DE SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	-	Associação Brasileira de Cimento Portland
AQUA	-	Alta Qualidade Ambiental
BDI	-	Bonificação e Despesas Indiretas
CETESB	-	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo
CIB	-	<i>Council Innovation In Building</i>
CO ₂ e	-	Dióxido de Carbono Equivalente
CREA	-	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
CTECH	-	Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação
CUB	-	Custo Unitário Básico
CIB	-	<i>International Council for Research and Innovation in Bulding and Construction</i>
dtot	-	Distância Total Percorrida
dh	-	Distância percorrida em uma hora
E ₁	-	Total de CO ₂ e gerado pelo veículo
Em	-	Emissão em kg para diesel
E ₂	-	Total de CO ₂ e gerado pelo equipamento elétrico
Eex. aço	-	Emissão no processo de extração do aço
Ee	-	Emissão em kg para energia elétrica
Etf aço	-	Emissão no processo de transformação do aço
Eext. Areia	-	Emissão no processo de extração da areia
Eext. Br	-	Emissão no processo de extração da brita
Etf. Br	-	Emissão no processo de transformação da brita
Eex.c	-	Emissão no processo de extração para o cimento
Ec	-	Emissão por kg no processo de transformação do cimento
Ecl	-	Emissão na queima do clínker
Ead	-	Emissão na queima das adições básicas ao clínker (gipsita)
Etf.c	-	Total da emissão no processo de transformação do cimento
Etran.aço	-	Total da emissão no transporte do aço
Etran.areia	-	Total da emissão no transporte da areia

Etran.br	-	Total da emissão no transporte da brita
Etran.c	-	Total da emissão no transporte do cimento
Es/c	-	Total da emissão sem carga
FAR	-	Fundo de Arrendamento Residencial
FAT	-	Fundo de Amparo ao Trabalhador
FAR	-	Fundo de Arrendamento Residencial
FGTS	-	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FNHIS	-	Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
HQE	-	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos
IPCC	-	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISSO	-	<i>International Organization for Standardization</i>
kW	-	kiloWatts
l	-	litro
LCA	-	<i>Life Cycle Assessment</i>
LEDD	-	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
ONU	-	Organização das Nações Unidas
PAR	-	Programa de Arrendamento Residencial
PBQP-h	-	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Habitação
PIB	-	Produto Interno Bruto
PIS	-	Programa de Integração Social
Qaço	-	Quantidade de aço
Qar	-	Quantidade de areia
Qbr	-	Quantidade de brita
Qc	-	Quantidade de cimento
SEMTURB	-	Secretaria Municipal de Terras, Habitação e Urbanismo
SIAC	-	Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras
SINDUSCON	-	Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Maranhão
SIQ	-	Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras
TCPO	-	Tabela de Composições de Preços para Orçamentos
UNFCCC	-	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
V tran	-	Volume de insumos transportados
α	-	Percentual de clínker em função do tipo de cimento Portland

INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, o homem tem sofrido com as consequências geradas pela forma como vem conduzindo seus processos produtivos. Embora seja o período de maior crescimento tecnológico da raça humana, este foi também o momento onde o homem passou a gerar os meios que poderão levá-lo a extinção.

No início do século XXI, os efeitos causados pelo desequilíbrio ambiental assumiram proporções catastróficas (DIAS, 2006). Enchentes, maremotos e outros desastres ambientais causados pela mudança do clima passaram a fazer parte do cotidiano.

As leis da natureza determinam que a cada ação existirá uma reação correspondente (SEIFFERT, 2007). Estudos produzidos por várias instituições de pesquisa são consolidados no relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, IPCC (2006), onde se confirma a necessidade de medidas mitigatórias para reduzir o aquecimento global.

A busca por um desenvolvimento que não comprometa o futuro da humanidade levou a um grande debate mundial, iniciado desde o Clube de Roma, onde se chegou a metas e medidas que visam permitir um crescimento sustentável – A Agenda 21.

Como uma das metas estabelecidas no compromisso firmado entre os países integrantes da Agenda 21, tem-se a redução do consumo de bens não renováveis no meio ambiente. Esta discussão sobre a redução no uso de materiais e energia passou a integrar preocupação do setor de construção civil (CIB, 2002).

O crescimento da tomada de consciência para diminuir a degradação ambiental criou um novo mercado no setor da construção civil, as construções sustentáveis, gerando menor impacto ao meio ambiente (JACOMIT et al, 2009).

Na opinião de John (2006), o conceito de sustentabilidade ainda não é bem incorporado ao ramo da construção civil, por tentar equilibrar os contextos ambientais, sociais e econômicos, que tendem a uma subjetividade devido as nuances únicas de cada região.

Esse mesmo autor acredita que países desenvolvidos têm maiores facilidades em encontrar este equilíbrio. Daí, as críticas às importações de modelos

de sustentabilidade para aplicação nos países em desenvolvimento.

Relatórios do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), (FOSTER, 1996) e Banco Mundial (2000), demonstram que nos países em desenvolvimento a infraestrutura ainda está precária em termos de indústrias, enquanto nos países desenvolvidos já existem inúmeras indústrias e as construções constantes aumentam cada vez mais o gradiente de poluentes (AGOPYAN et al, 2001).

A construção civil mundial é responsável por altos índices de interatividade com o meio ambiente. A indústria da construção é responsável pela extração de 30 a 40% dos recursos naturais por alta emissão de CO₂e (5% do CO₂ do mundo vem só da indústria do cimento) e pelo descarte de até 50% dos resíduos urbanos gerados (PULSELLI et al, 2007).

Portanto, as indústrias de construção e seus segmentares podem ser considerados fontes geradoras de poluição. Entretanto, sem elas não existe desenvolvimento. Para que haja um desenvolvimento sustentável, faz-se necessário a implantação de uma construção sustentável.

Para estabelecer o que se espera em uma construção sustentável é fundamental conhecer o custo real da construção, de forma a repensar o processo de produção dos edifícios e das cidades.

O custo de um bem, segundo Mattos (2006), é composto por todo o valor econômico necessário para a sua extração, transporte, manufatura e implantação, sempre considerando os valores financeiros utilizados para sua disposição final. Aqui fica a dúvida se estão sendo considerados todos os componentes para compor os custos na construção civil.

No Brasil, especificamente na cidade de São Luís, ainda existem poucos estudos sobre quais as condições para um caminho mais sustentável na indústria de construção civil.

O objetivo geral desse trabalho é identificar o custo ambiental incorporado à produção de edificações executadas em concreto armado moldado "*in loco*", a partir de um estudo de caso na cidade de São Luís do Maranhão.

Como objetivos específicos, destacam-se: analisar o movimento pela sustentabilidade na construção civil brasileira; reconhecer as características da indústria da construção civil brasileira; identificar o custo ambiental embutido nos processos de construção: particularmente no concreto armado; e demonstrar o método de cálculo do custo ambiental agregado.

Dessa forma, o problema colocado nesta pesquisa foi levantar a necessidade de agregar valores não computados quando da composição de custos de determinados serviços de uma obra de construção civil. Valores esses, relativos às relações de degradação e consumo do meio ambiente.

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

O Capítulo I apresenta a revisão bibliográfica sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, relacionando o conteúdo a ser estudado com o contexto mundial, de forma a permitir minimizar danos ambientais.

O Capítulo II, ainda fazendo uso da bibliografia disponível, perpetra a contextualização da indústria da construção civil no Brasil, apresentando metodologias para avaliação de sustentabilidade das edificações e estabelecendo os insumos de maior importância em uma obra em concreto armado.

O Capítulo III apresenta a avaliação do ciclo de vida dos insumos determinados tendo como limite a produção de CO₂ durante todo o ciclo de vida destes insumos, até a produção da peça em concreto armado.

No Capítulo IV, é descrito o estudo de caso adotado e são apresentados custos e quantitativos da obra. Neste capítulo, são adotadas as equações propostas no capítulo anterior e verificado o custo real da construção.

O Capítulo V apresenta a conclusão da pesquisa, com destaque para os resultados obtidos na aplicação da proposta apresentada.

Muitas vezes, a adoção de princípios de sustentabilidade ambiental esbarra nos custos mais elevados na produção edifício, conforme método usual adotado na realização do orçamento das obras, que ignora os custos ambientais embutidos nas decisões de projeto e construção.

Espera-se com este trabalho trazer uma contribuição às discussões acerca do assunto em questão, uma vez que, na verdade, os custos finais das edificações que incorporam os princípios da sustentabilidade ambiental – que inclui eficiência energética, racionalização do projeto e da construção, ciclo de vida dos materiais, entre outros aspectos – podem ser, de fato, inferiores ao custo de produção das edificações tradicionais.

CAPÍTULO 1

1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL

A ideia de recursos naturais inesgotáveis prevaleceu a partir da Revolução Industrial. A degradação feita através de desmatamentos, queimadas, ampliação das emissões pelas indústrias, esgotos não tratados, dentre outros, tem aumentado bastante nos últimos anos, não permitindo à natureza tempo para reposição.

A diversidade de condições encontradas na superfície terrestre leva os indivíduos a se agruparem em regiões. Regiões de condições diferentes apresentam espécies diferentes, onde se observam grandes extensões de prevalência de determinado tipo de vida. Esses ecossistemas são chamados de Bioma (BRAGA, 2005).

A preocupação, neste início do século XXI, é muito grande com o Bioma. A escassez de recursos e a rapidez de consumo tornam recursos renováveis em não-renováveis, levando a uma alteração no habitat e comprometendo gerações futuras. “A taxa de sustentação supera a capacidade máxima de sustentação do sistema” (BRAGA, 2005).

Dessa forma, o homem passa a conviver com a possibilidade de escassez de recursos. Por isso, cada vez mais é enfatizada a necessidade de preservar fontes de recursos que eram tidos como inesgotáveis.

Para Dias (2006, p. 12), a publicação do livro “Silent Spring” da autora Rachel Carson (1962), levou a uma primeira reflexão mais profunda da relação homem e ambiente, ao descrever os perigos do uso do inseticida DDT.

Em abril de 1968, nasce o chamado Clube de Roma, organização informal, com o intuito de promover o entendimento dos componentes variados que formam o sistema global, bem como chamar a atenção dos que são responsáveis para que sejam tomadas iniciativas, e desenvolvidos planos de ações (THE CLUB OF ROME, 2010).

Publicado em 1972 por Denis L. Meadows, o estudo “Limites do Crescimento” foi o primeiro informe do Clube de Roma. Esse estudo descreve o problema da utilização dos recursos naturais de um mundo com uma população

crescente e uma indústria que causa danos irreparáveis ao meio ambiente (TOZADORI, 2010).

Todavia, esse relatório produzido pelo Clube de Roma gerou controvérsias ao apresentar projeções do tempo para o esgotamento de recursos naturais no mundo, contados a partir da data de sua publicação. Os prazos estipulados pelo relatório levariam a uma crise mundial sem precedentes. O esgotamento desses recursos paralisaria toda a humanidade, considerada a forte dependência de seu uso, sobretudo do petróleo. A previsão não se concretizou devido ao aparecimento de novas fontes de exploração e de alternativas tecnológicas, porém, a preocupação gerada pelos dados do relatório foi ponto de partida para as providências posteriores.

A primeira amostra real de preocupação dos governantes com os efeitos de uma economia não sustentável aparece em 1972, na cidade de Estocolmo, com a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada pela ONU.

O termo “sustentabilidade” estava, inicialmente, muito ligado à esfera ambiental. Questões ambientais são complexas e acabam por extrapolar o universo ambientalista e incorporar aspectos sociais, econômicos, políticos e culturais. A partir disso, passa a ser uma estratégia global (BENNETT, 2004).

Ao longo do tempo, muitas definições de desenvolvimento sustentável foram propostas, todas baseadas na definição inicial lançada pelo Relatório Brundtland, buscando uma abordagem multidisciplinar, levando ao chamado tripé de sustentabilidade, englobando a busca pelo equilíbrio das áreas ambientais, econômicas e sociais (CISILLAG, 2007).

O termo Desenvolvimento Sustentável surge em 1987, proposto pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente. Coordenados pela primeira ministra da Noruega, *Gro Harlem Brundtland*, membros de 22 países fizeram uma análise sobre a situação de miséria e pobreza em que viviam os habitantes dos países do sul e também acertaram a convocação para conferências periódicas para discorrer sobre o assunto. Foi o resultado da evolução das preocupações com a crise energética durante a década de 70 (CISILLAG, 2007).

Portanto, com o envolvimento de governos de diversos países, as medidas para um desenvolvimento sustentável passaram a ter maior expressão no contexto

mundial. Tornou-se mais abrangente e eficaz a busca por proposições que se moldassem às condições únicas de cada país.

Os trabalhos da Comissão foram apresentados em um relatório final com o título “Nosso Futuro Comum”, definindo o conceito de desenvolvimento sustentável: “Atender às necessidades da geração presente sem comprometer a habilidade de gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”(DIAS, 2006, p. 12).

Para Baroni (1992, p.18), o conceito de desenvolvimento sustentável:

[...] desenvolvimento sustentável implica em usar os recursos renováveis naturais de maneira a não degradá-los ou eliminá-los, ou diminuir sua utilidade para as gerações futuras, implica em usar os recursos minerais não renováveis de maneira tal que não se destruam o acesso a eles pelas gerações futuras.

Embora rico em conceituação, o termo desenvolvimento sustentável leva a uma única interpretação, ficando próxima do conceito proposto pelo Relatório Brundtland.

Após a aprovação na ONU para a realização da segunda Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, na cidade do Rio de Janeiro, onde a ECO-92 ou Cúpula da Terra, tratou sobre meio ambiente e desenvolvimento, tem-se a elaboração de projetos e esboços de programas de sustentabilidade. Inicia-se a série de medidas e ações que levam a Agenda para o século 21 (JOHN, 2006). Foi o reconhecimento da necessidade de estabelecer metas para o desenvolvimento sustentável.

Em Araújo (2009, p.25), encontra-se os objetivos resultantes do conceito de desenvolvimento sustentável proposto pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento:

- Crescimento renovável;
- Mudança de qualidade do crescimento;
- Satisfação das necessidades essenciais por emprego, comida, energia, água e saneamento básico;
- Garantia de um nível sustentável de poluição;
- Conservação e proteção da base de recursos;
- Reorientação da tecnologia e gerenciamento do risco;
- Reorientação das relações econômicas internacionais.

Os objetivos listados apresentam a necessidade de melhorias no âmbito social e econômico, mostrando que desenvolver com sustentabilidade envolve bem mais que a mera proteção do meio ambiente. Propõe um desenvolvimento consciente, onde deve prevalecer o uso de recursos com capacidade de renovação. Assim, não haveria o esgotamento da base de recursos disponíveis. Considera

também os aspectos sociais no que se refere a atender as necessidades básicas de uma população, essencial para permitir propor medidas de preservação ambiental a populações carentes.

Na relação entre países, fica o compromisso de buscar a efetivação de negócios, considerando as consequências geradas a terceiros e ao meio ambiente com a promoção do desenvolvimento sustentável por meio da liberalização do comércio; estabelecimento de um apoio recíproco entre comércio e meio ambiente; oferta de recursos financeiros suficientes aos países em desenvolvimento e iniciativas concretas diante do problema da dívida internacional; o estímulo a políticas macroeconômicas favoráveis ao meio ambiente e ao desenvolvimento.

A Figura 1 ilustra essa sensível relação entre desenvolvimento econômico, social e ambiental, atingindo patamares mínimos de inter-relação em um meio cercado por dificuldades e reações às mudanças propostas.

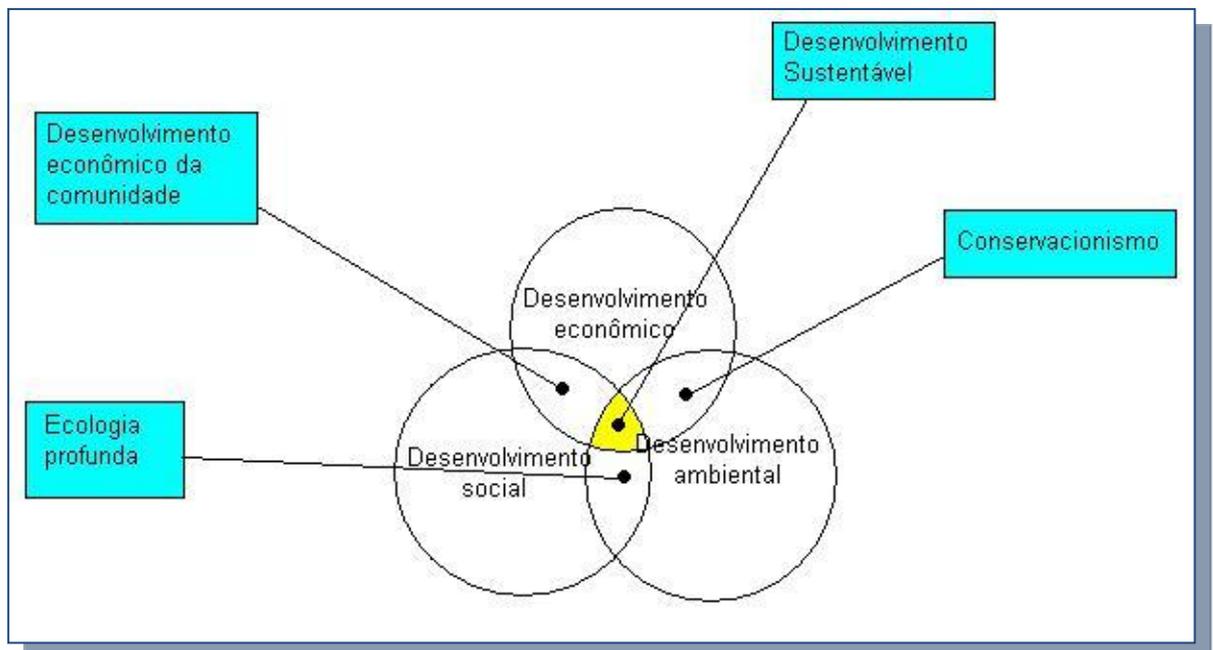


Figura 1 - Imperativos e conflitos dos âmbitos social, ambiental e econômico para o desenvolvimento sustentável

Fonte: SEIFFERT, 2007.

Analisando a figura 1, encontrou-se a relação tênue a ser equilibrada para um desenvolvimento com sustentabilidade, passando pelos aspectos econômicos,

sociais e ambientais. Este equilíbrio é rompido em países onde existe concentração de renda, ou que ainda estejam em fase de industrialização (AGOPYAN et al, 2001).

Observa-se também que o desenvolvimento sustentável apresenta-se como ponto ideal a intersecção entre as três esferas. Excessos na relação entre duas variáveis levam a maior interação entre formas de desenvolver com prejuízos para outra, como por exemplo, a ecologia profunda, onde se verifica forte relação da sociedade com o meio ambiente levando a prejuízo da variável economia.

Sobre essa relação de equilíbrio, Seiffert (2007, p. 26) estabelece, a partir da figura 1, o seu entendimento:

[...], com a predominância dos imperativos das esferas ecológica e social sobre a econômica, tem-se a perspectiva da ecologia profunda, a partir da qual amadureceu o conceito de desenvolvimento sustentável. Com a predominância dos imperativos da esfera ambiental e econômica sobre a social, tem-se o conservacionismo. Por sua vez, com o predomínio dos âmbitos econômico e social sobre o ambiental, tem-se o crescimento econômico, padrão típico das últimas décadas causador de tanta degradação ambiental.

Observa-se que são grandes os entraves que impedem o desenvolvimento com sustentabilidade, como o conservacionismo dentro do desenvolvimento econômico, onde, o que já vem dando lucro, não aceita adequações ou riscos de mudanças que possam alterar seu percentual de lucratividade. Outro exemplo a considerar é a dificuldade em falar de sustentabilidade para grupos sociais com carências de recursos básicos.

Para Agopyan et al (2001) é necessário que sejam cumpridas as metas sociais, apesar de grande parte dessas medidas dependerem da vontade política. A busca de soluções inovadoras pode aliar um baixo custo com um baixo impacto ambiental, contribuindo para a economia ambiental.

Dessa forma, ressalta-se que é fundamental estabelecer metas sociais que permitam resolver problemas causados pelas carências de necessidades básicas de uma sociedade, para só então, implementar requisitos de sustentabilidade com maior aceitação.

É importante equilibrar metas e medidas de forma a atender as premissas de um desenvolvimento social, econômico e ambiental. Este é o segredo para chegar a um desenvolvimento sustentável. Scipioni et al (2009) consideram que se deve determinar os modelos adequados para implantar o desenvolvimento sustentável de acordo com premissas de cada região.

Este conjunto de metas e medidas deu início a um tipo de gestão empresarial diferenciada. Passou-se a considerar os aspectos propostos por Seiffert (2007) na busca pelos pressupostos de sustentabilidade. O que se denomina de sistema de gestão ambiental, surge como forma de harmonizar as interações entre ecossistemas antrópicos e naturais.

Segundo Braga et al (2005), para padronizar as medidas necessárias à implantação de um sistema de gestão ambiental nos diversos países, fez-se normas específicas para o uso do meio ambiente. Surgem em 120 países, inclusive o Brasil, representado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) as normas internacionais ISO 14.000. Este conjunto de normas trata de sistemas de gestão ambiental, auditoria ambiental, rótulos e declarações ambientais, avaliação do desempenho ambiental e análise do ciclo de vida.

As normas ISO são padrões desenvolvidos pela *International Organization for Standardization* (ISO), organismo internacional com sede em Genebra (DIAS, 2006, p. 91). O conjunto de normas ambientais tem como eixo central a ISO 14001, passível de certificação, que estabelece requisitos para um Sistema de Gestão Ambiental.

A Gestão Ambiental, para Valle (1996, p. 39), “consiste de um conjunto de medidas e procedimentos bem definidos e adequadamente aplicados visando reduzir e controlar os impactos introduzidos por um empreendimento sobre o meio ambiente”.

Buscando uma maior compatibilidade com a norma de Sistemas de Gestão da Qualidade, a NBR ISO 9001, a norma que trata do Sistema de Gestão Ambiental – ISO 14001, sofreu revisão em 15 de novembro de 2004 (ABNT). Almeida et al (2004, p. 81) considera a norma inglesa BS 7750, precursora da ISO 14001, mais completa por encorajar a aplicação de técnicas de avaliação de riscos.

Entende-se que adoção de Sistemas de Gestão Ambiental nas empresas deve vir seguida de uma mudança cultural. Existe uma disparidade muito grande no que diz respeito às questões ambientais, sendo a pressão da sociedade a responsável principal pela tomada de consciência das empresas em relação a estas questões.

As normas da série ISO 14000, de natureza voluntária e com dois diferentes focos de aplicação: sistema de gestão e rotulagem surgiram como proposta para a gestão ambiental durante a ECO-92 (SEIFFERT, 2007, p. 193).

Portanto, a preocupação com o esgotamento de recursos naturais e a necessidade de continuar a se desenvolver levam a humanidade a uma constante busca por medidas e metas que permitam preservar as condições de sustentabilidade do planeta.

Os programas, normas e outras medidas implementadas servem para estabelecer as maneiras de avanço da humanidade para um futuro cada vez mais desenvolvido, garantindo o compromisso com as gerações vindouras.

1.1 Agenda 21 e o Compromisso com a Sustentabilidade

Na Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro, conhecida como RIO-92 ou ECO-92, foi estabelecida a agenda para o século XXI, a Agenda 21, adotada, inicialmente, por 179 governos. Constitui um programa internacional que estabelece parâmetros para que se obtenha desenvolvimento sustentável (JOHN, 2006).

Da Conferência, originaram-se cinco documentos básicos, conforme Dias (2006, p. 33):

- Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento;
- Declaração de princípios para a gestão sustentável das florestas;
- Convênio sobre a Diversidade Biológica;
- Convênio sobre as Mudanças Climáticas;
- Programa das Nações Unidas para o século XXI, a Agenda 21.

Os temas ambientais passaram a ser vistos como um crescente campo para a atuação de empresas e profissionais, cuja capacidade de gerenciamento estiverem de acordo com os itens propostos na Agenda 21.

Esse conjunto de metas e medidas, assumidos pelos países na conferência, teve a intenção de levar os governantes a refletir de maneira global e local, sobre a situação pela qual o mundo está passando, tentando assim, diminuir os efeitos causados pela poluição e agressão ao meio ambiente, criando uma forma de desenvolvimento sustentável para cada país.

A Agenda 21 busca resolver os problemas prementes, mantendo o objetivo de preparar o mundo para o século XXI. Reflete um consenso mundial e um compromisso político no nível mais alto no que diz respeito a desenvolvimento e

cooperação ambiental. O êxito da execução do compromisso firmado para a Agenda 21 é responsabilidade dos Governos, tendo como principais destaques o crescimento econômico, o desenvolvimento social e a erradicação da pobreza, essenciais para alcançar os objetivos nacionais e mundiais de sustentabilidade (ONU, 1992).

O programa Agenda 21 recomenda a cooperação entre países para superar barreiras e acelerar o desenvolvimento sustentável. Estabelece mecanismos de financiamento de ações a serem implementadas em países em desenvolvimento e recomenda o intercâmbio tecnológico como forma de promover este avanço.

Governar para atingir desenvolvimento sustentável consiste em desenvolver núcleos de valores e princípios desenvolvidos horizontalmente e verticalmente com os governantes e encontrar caminhos para envolver e mobilizar a sociedade civil na implementação de políticas ambientais (FIDÉLIS; PIRES, 2009).

Segundo Gomes (2003), fica evidente que as necessidades econômicas e sociais estão diretamente ligadas ao equilíbrio entre o custo e benefício ambiental de ações para o crescimento de países em desenvolvimento. Portanto, qualquer medida de preservação ambiental esbarra no atendimento prioritário de necessidades sociais básicas. Uma estratégia voltada para o combate à pobreza é requisito para a existência de desenvolvimento sustentável.

Em controvérsia, o esgotamento de recursos da natureza pode levar a quebra da produção, com consequências sobre a economia e aumento de índices de pobreza. Para que uma estratégia possa fazer frente aos problemas da pobreza, do desenvolvimento e do meio ambiente, é necessário que considere os recursos, a produção e as pessoas.

Dessa forma, é importante o fortalecimento do papel dos principais grupos de uma sociedade, buscando atender as premissas básicas de cada região e dando um contexto local ao programa Agenda 21.

A implantação de Agendas 21, específicas para cada país, permitiu adequar as metas a serem atingidas às condições disponíveis. Assim, o programa passa a contar com maior penetração para promover o envolvimento da sociedade civil, fundamental para o sucesso dos objetivos propostos.

1.2 A Agenda 21 no Brasil

O Brasil ainda faz parte do grupo dos piores países em termos de habitação e serviços sanitários (AGOPYAN et al, 2001). Mesmo nas grandes cidades, os serviços de coleta e tratamento de esgoto resultam em impactos ambientais, como por exemplo, a contaminação do rio Tietê; o sistema de transporte público é ineficiente e aumenta o uso de automóveis, contribuindo para as emissões de gases; etc.

Um importante aspecto é a agenda social. O déficit habitacional de infraestrutura e dos serviços sanitários é grave no país. Apesar disso, é um dos princípios no qual o desenvolvimento sustentável se apoia.

A adoção do Código de Águas, Código de Mineração e Código Florestal no ano de 1934, e a criação do Parque Nacional de Itatiaia são para Almeida et al (2004, p. 137) “o início das ações governamentais no campo das políticas ambientais”.

A decisão de incorporar o conceito de desenvolvimento sustentável às ações de governo levou à criação da Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Brasileira (Brasil, 2004).

Tendo como eixo principal a sustentabilidade, a Agenda 21 Brasileira é um processo e instrumento de planejamento participativo. Construída pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável no período de 1996 a 2002, foi implantada em 2003, como Programa do Plano Plurianual (Brasil, 2004).

A construção da Agenda 21 Brasileira resultou em dois documentos: “Agenda 21 Brasileira – Ações Prioritárias”, que estabelece os caminhos preferenciais da construção da sustentabilidade brasileira, e “Agenda 21 Brasileira – Resultado da Consulta Nacional”, produto das discussões realizadas em todo território nacional.

No Brasil, o Programa Agenda 21 foi caracterizado por três ações básicas, realizadas com a sociedade civil: implementar a Agenda 21 Brasileira; elaborar e Implementar as Agendas 21 Locais; formação continuada em Agenda 21 (BRASIL, 2004).

A Agenda 21 Brasileira assumiu fisionomia diferenciada da versão global, pois os problemas sociais têm maior destaque por serem mais visíveis e

demandarem soluções mais imediatas. Considera todos os setores da sociedade responsáveis pelo processo da dinâmica e da consolidação da sustentabilidade, partindo das seguintes premissas: gestão democrática, participação, planejamento estratégico, ética e transparência.

Como uma das propostas para atingir a sustentabilidade, propõe a inclusão dos custos ambientais e sociais no orçamento e na contabilidade dos projetos de infraestrutura.

Consciente da importância em ver concretizada as políticas públicas sustentáveis, o programa priorizou a elaboração e implementação das Agendas 21 Locais. Buscando o fortalecimento da sociedade e do poder local, atuou de forma descentralizada para obter o maior envolvimento da sociedade.

Segundo Cabreira (2010), desafios relativos ao desenvolvimento industrial, aumento populacional, urbanização, conservação dos recursos naturais e disponibilidade de energia devem ser superados através de gestão democrática e participativa, permitindo que as populações locais tenham voz ativa na destinação de seus recursos. Assim, as Agendas 21 Locais são a forma de dar voz à população de cada região.

Um dos pré-requisitos fundamentais para alcançar o desenvolvimento sustentável é a ampla participação da opinião pública na tomada de decisões. A necessidade da sociedade participar na maneira de desenvolver, com consciência de que a população afetada deve expor suas necessidades, caracterizou e reforçou a implantação dos programas de Agenda 21 Local. De caráter opcional, implantar o programa passou a ocupar espaço relevante em diversas cidades do mundo, com experiências diferenciadas bem ou mal sucedidas.

Em uma análise dos diferentes objetivos que se destacam nas Agendas 21 Locais, o meio ambiente tem aspectos predominantes com o fornecimento de acesso a diferentes grupos dentro da sociedade civil para a tomada de decisões em processos de implementação.

Portanto, o objetivo de um programa Agenda 21 só será atingido se puder atender aos anseios da população onde tem sua atuação. Dessa forma, tem-se um programa para o desenvolvimento com sustentabilidade atendendo aos desejos da sociedade que vivencia o real contexto da região, onde as metas são diferenciadas para cada país, cada localidade.

A Agenda 21 e as ações propostas em programas de preservação do meio ambiente estão voltadas para a construção sustentável das cidades do mundo atual, já que a construção civil é uma das áreas que possui maior destaque na economia de cada país (ALUCINO, 2008).

A forte relação entre a indústria de construção, a economia e o meio ambiente, levou a criação de metas específicas para atingir o desenvolvimento sustentável no setor, culminando com a criação de uma agenda voltada para uma construção sustentável.

1.3 Agenda 21 para a construção sustentável

Em Johannesburgo, após reunião da Cúpula Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, foi produzida e publicada a “Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento”. Este documento cita a necessidade de intervir na indústria de construção civil como fundamental para que se alcance sustentabilidade, e entende que, países em desenvolvimento, têm suas demandas diferenciadas para crescimento com sustentabilidade (CIB, 2002).

Destaca ainda que as mega cidades estão situadas em países em desenvolvimento, onde não há investimento urbano suficiente para acompanhar a alta taxa de crescimento demográfico. Ressalta-se que a Agenda 21 foi criada com objetivo de discutir e entender os desafios da construção sustentável em países em desenvolvimento e formular diretrizes e estratégias de ação para o setor.

Esse documento entende a construção civil como uma indústria, parte do processo do ciclo de produção de um empreendimento. Relaciona a construção aos setores de produção de materiais e componentes, permitindo uma visão ampla do ciclo de vida dos elementos que compõem uma edificação.

A definição de construção sustentável, segundo o CIB¹ (2002, p. 8), esclarece ser este “um processo holístico, cujo objetivo é restaurar e manter a harmonia entre o ambiente natural e o construído, e criar estabelecimentos que atendam a dignidade humana e incentivem a igualdade econômica”.

¹ CIB – The International Council for Research and Innovation in Building and Construction.

A Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento recomenda ações que resultam em modificações na forma de gerenciar o setor da construção. No âmbito da construção civil, torna-se necessário que se tenha uma melhor formação profissional, aliada à capacitação de recursos humanos e melhorias nas condições de trabalho, pois assim se pode contar com entendimento e conscientização dos envolvidos para a busca de ações para sustentabilidade.

O programa leva a mudanças nos processos de desenvolvimento de projetos, sendo fundamental que se adote ações que possibilitem maior integração entre todos os envolvidos no planejamento do produto final a ser fabricado.

Para o produto final, é importante uma concepção construtiva que prime por atingir maior qualidade ambiental, atendendo a normas e recomendações que conferem um maior grau de sustentabilidade ao empreendimento construído.

Nos últimos anos, ocorreram muitas transformações no planejamento e na gestão de empreendimentos da construção civil. Recentemente, o conceito de sustentabilidade tornou-se importante nas edificações em função do impacto ambiental gerado neste setor. Estudos sobre construção sustentável vêm ganhando espaço, mas a aplicação de inovações é condicionada à disponibilidade de recursos ou à exigência dos clientes (PATZLAFF, 2009).

O ramo da construção civil apresenta um predomínio muito elevado das questões econômicas sobre as sociais e ambientais. Dessa forma, entende-se que o conservacionismo ainda prevalece no modelo hierárquico adotado pelo setor.

A implementação de mecanismos que permitam às construtoras o crescimento, considerando as questões ambientais em suas obras, sustentabilidade ambiental, pode se dar através de prêmios e diferenciais de campo mercadológico, como ocorre em países europeus (CABREIRA, 2010).

Segundo Lutzkendor et al (2005), a União Européia criou uma comissão para o desenvolvimento de estratégias que levem o setor construtivo a um maior compromisso com o desenvolvimento sustentável. As medidas vão desde a redução de taxas para construção, até a possibilidade de utilização de recursos disponibilizados em fundos específicos. A Agência Ambiental para a Região de Paris constatou que medidas econômicas e possibilidade de financiamentos são medidas bem aceitas para a promoção de uma construção sustentável.

Uma forma de atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil vem sendo conseguido com as limitações impostas por organizações financeiras internacionais. Recursos são liberados, mediante apresentação de projetos que considerem medidas mitigatórias para os impactos ambientais.

Esses fatos e constatações, somados à falta de uma política efetiva que possa orientar as empresas construtoras na realização de obras, sem perder de vista a necessidade de preservar o meio ambiente, leva a crer que é importante que os governos estabeleçam padrões mínimos que regulem o mercado na busca por atingir metas ambientais.

Os novos caminhos na procura pelo desenvolvimento sustentável valem para todos os ramos produtivos de um país. A competitividade, hoje existente no campo de atuação das indústrias de construção, demonstra a necessidade de mudanças no segmento (LORDSLEEM JR; NEVES, 2009).

Portanto, é importante capacitar e informar os envolvidos no processo de busca pela sustentabilidade do setor, para que objetivos e metas sejam perseguidos de maneira uniforme. A educação e o acesso a informações são propostas básicas da Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento.

Entende-se que para que sejam atingidos os compromissos para sustentabilidade é necessário que se estabeleça, a priori, como atingir as metas propostas, evitando assim entendimentos e interpretações equivocadas sobre o significado de desenvolvimento sustentável.

É necessário buscar maior conhecimento sobre o assunto, evitando que cada profissional tenha um entendimento próprio sobre o que é obra executada com sustentabilidade. Dessa forma, é fundamental a participação de grupos da sociedade civil envolvidos e afetados pelo tema.

Com o objetivo de levar o setor da construção ao uso de práticas mais sustentáveis, que venham melhorar a qualidade de vida dos usuários, dos trabalhadores e do ambiente que cerca as edificações, buscando atingir metas e ações pactuadas na Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento, foi criado em agosto de 2007 o CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. É o resultado da articulação entre lideranças empresariais, pesquisadores, consultores, profissionais atuantes e formadores de opinião (CBCS, 2007).

O CBCS caracteriza-se pela busca da sustentabilidade ambiental, social e econômica em toda a cadeia produtiva da Construção Civil no Brasil. Sendo membro do programa Mudanças Climáticas e Construção Sustentável², reflete a preocupação com as emissões nocivas geradas pela indústria da construção civil.

Para Tavares (2006), as construções contribuem para a emissão de 40% dos poluentes atmosféricos, 20% de poluentes a efluentes de água, 13% de resíduos sólidos e outras liberações. Esses valores são confirmados em estudos de Furtado (1999) e representam dados mundiais.

No caso da emissão de gases nocivos, geradores do aquecimento global, o efeito estufa, tem-se o CO₂e como um dos grandes problemas da indústria de construção civil. Em Fairbairn et al (2010) a fabricação mundial de insumos como o cimento acaba por ser responsável por até 5% de todo o CO₂e lançado na atmosfera por atividades humanas.

O documento produzido pela Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento alerta para o fato de que somente a indústria de produção de materiais para a construção civil é responsável por 20% da emissão mundial de gases nocivos a cada ano (CIB, 2002).

Segundo Pinheiro (2002), no século XX, houve um aumento de 20% na concentração de dióxido de carbono na atmosfera do planeta. A Tabela 1 apresenta a produção mundial de resíduos somente na Indústria da Construção Civil, considerando a entrega do produto final, com destaque para a emissão de gases.

Tabela 1 – Produção Mundial de Resíduos na Construção Civil

PORCENTAGEM	RESÍDUO PRODUZIDO
40%	Emissões Atmosféricas
25%	Efluentes Líquidos
20%	Resíduos Sólidos
13%	Outras liberações

Fonte: FURTADO apud TAVARES (2006).

² Sustainable Building and climate change.

A Tabela 1 mostra a importância de se ter um programa específico para a promoção de metas e ações que busquem um desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil.

Esperar pela simples conscientização dos gestores das construtoras ou dos clientes consumidores do produto final pode ser demorado, uma vez que existe a preocupação do aumento imediato de custos, embora este se dilua ao longo da vida útil da obra.

Conclui-se que são inúmeros os critérios e indicadores que possibilitam introduzir mudanças que levem a um desenvolvimento sustentável na indústria da construção, bastando incentivo e comprometimento dos que detêm o poder decisório.

Dessa forma, receber vantagens econômicas tem sido um grande atrativo para as empresas em fase de conscientização ambiental, como no caso dos geradores de poluentes atmosféricos.

O potencial de resíduos a serem reduzidos, com destaque para as emissões, remete a uma área pouco explorada pelo setor. O fato de a construção civil ter 40% de seus resíduos produzidos como emissões atmosféricas, pode levar as empresas construtoras a um novo mercado de venda de créditos de carbono com a obtenção de recursos financeiros externos.

1.4 Mudanças climáticas e o mercado de carbono

Ao detectar o problema da mudança climática global, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) estabeleceram, já em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). É um grupo aberto a todos os membros da ONU e da Organização Meteorológica (IPCC, 2006).

O papel do IPCC é avaliar de uma forma global, informações objetivas, científicas, técnicas e sócioeconômicas, relevantes para a compreensão das evidências científicas dos riscos colocados pelas alterações climáticas, causadas por atividades humanas, seus impactos potenciais e opções de adaptação e mitigação. O IPCC não realiza pesquisas ou monitora dados relacionados com o clima ou

outros parâmetros relevantes, mas baseia sua avaliação, principalmente em literatura científica.

Portanto, uma das principais atividades do IPCC é fazer uma avaliação periódica dos conhecimentos sobre as alterações climáticas. O IPCC também produziu relatórios especiais e trabalhos técnicos sobre temas a partir de informações e pareceres científicos independentes. Contribuiu com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), através do seu trabalho sobre as metodologias relativas aos inventários nacionais de gases de efeito estufa.

Atendendo ao debate mundial sobre os efeitos geradores de mudanças no clima, como uma das consequências da Agenda 21, cita-se a elaboração da Convenção Internacional sobre Melhoria Climática realizada, posteriormente, na cidade japonesa de Quioto em 1997, onde ficam estabelecidos prazos para redução da concentração de gases do efeito estufa, sobretudo, o dióxido de carbono, CO₂, principal composto da combustão de materiais que contenham carbono (BRAGA et al, 2005).

O potencial de aquecimento global, GWP, é um índice para a conversão de outros gases que provocam o efeito estufa em valores de dióxido de carbono equivalente. Tem como finalidade facilitar a análise de quantidades de emissões para eventuais compensações (FRONDIZI, 2009). Segundo definição encontrada no Inventário Nacional sobre Emissão de Gases do Efeito Estufa (IPCC, 2006), CO₂e, dióxido de carbono equivalente, é “concentração de dióxido de carbono que pode causar o mesmo grau de influência radioativa que uma mistura de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa”. O objeto dessa equivalência é permitir o uso de mecanismos que levem a redução nas emissões nocivas. Busca o consumo de dióxido de carbono, trabalho de absorção feito pelo ciclo da natureza ou o sequestro de dióxido de carbono, que corresponde ao armazenamento em depósitos que não seja a atmosfera (IPCC, 2006).

A preocupação com o efeito estufa passou a ocupar largo espaço nas ações propostas por diversos países para um desenvolvimento sustentável, sendo, talvez, a principal consequência da conscientização em relação à necessidade de garantir o futuro do planeta.

A busca por redução na emissão de gases geradores do efeito estufa é estabelecida no compromisso firmado pelo protocolo de Quioto, sendo adotado o

chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A implantação de projetos de MDL tem por objetivo a redução de emissões atmosféricas nocivas. O protocolo firmado em Quioto estabelece que países desenvolvidos podem abater parte de suas metas de redução através de projetos de MDL para a redução de emissões em países em desenvolvimento (FRONDIZI, 2009).

O chamado mercado de carbono, onde são negociadas a compra e venda dos créditos certificados pela redução de emissão de carbono equivalente, funciona através da remuneração de empresas de países em desenvolvimento que apresentam projetos que reduzem a emissão de gases do efeito estufa. Essa redução é paga por empresas de nações ricas, que acabam comprando esses créditos sem ter que efetivamente reduzir suas emissões.

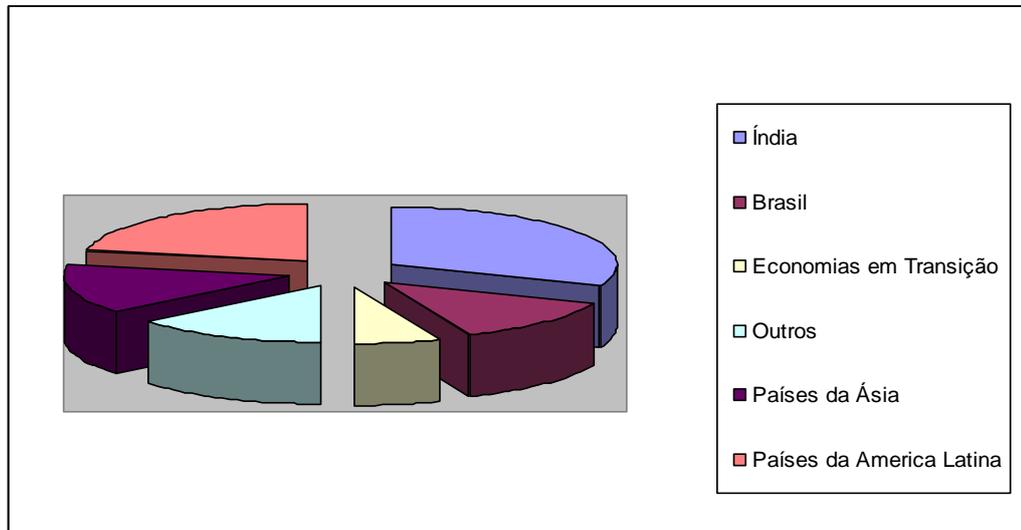
A venda de créditos de carbono corresponde à venda de certificações para redução de quaisquer dos gases que são causadores do efeito estufa. Por equivalência matemática a emissão do CO₂ representa a emissão de cada um dos demais gases (IPCC, 2006).

O mercado de carbono, embora bastante criticado por manter os níveis de poluição de países desenvolvidos e transferir a redução da emissão dos gases nocivos aos países em desenvolvimento, apresenta um crescimento considerável em países em desenvolvimento. Dados de 2005 destacam o crescimento de 200% no mercado de compra e venda de créditos de carbono no Brasil. Só o grupo formado pela construtora Camargo Corrêa e pela Suez Ambiental fez uma venda recorde de 2,87 milhões de toneladas de CO₂e para a empresa japonesa J-Power a um valor em torno de 7 milhões de dólares, demonstrando ser este um negócio bastante rentável e ainda pouco explorado no Brasil, como pode ser visualizado no Gráfico 1 (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2005).

Este gráfico aponta o Brasil com apenas 13% do mercado mundial, muito aquém da Índia, que detém o domínio de 31% do total de créditos de carbono negociados.

As vantagens vão muito além da simples receita com a venda de créditos de carbono. O Banco Mundial repassou 5,3 milhões de dólares a siderúrgica Plantar para que esta substituísse o coque por carvão vegetal plantado, tendo como compromisso, entregar 1,5 milhões de toneladas de créditos de carbono (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2005).

Gráfico 1 – Créditos de Carbono Negociados 2004/2005



Fonte: RODRIGUES; OLIVEIRA, 2005.

As empresas interessadas em se adequar, buscando normatização para o aproveitamento da venda de créditos de carbono, podem dispor da norma que trata sobre a Especificação e Orientação a Organização para Quantificação e Elaboração de Relatórios de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa, NBR ISO 14064 (ABNT, 2007). Esta norma não é um instrumento de gestão da qualidade, porém, pode contribuir com vários itens desse gerenciamento e ainda garantir lucro à empresa construtora por permitir a adequação a condições de regulamentação mínima para obtenção de créditos financeiros com a venda de carbono.

A versão brasileira da norma NBR ISO 14064 foi preparada pelo Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (ABNT/CB-38), por meio de seu Subcomitê de Mudanças Climáticas, sendo publicada em 05 de novembro de 2007. Esta norma é subdividida em 03 partes. Como apresentado no Quadro 1, embora não seja uma norma de gestão, contribui para os novos conceitos da busca por uma construção sustentável, sendo de grande valia para captação de recursos através de certificações de venda de créditos de carbono, ou mesmo a redução voluntária.

Quadro 1 - Partes da ABNT NBR ISO 14064

PARTE 01	PARTE 02	PARTE 03
Especificação e orientação a organizações para a quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases do efeito estufa.	Especificação e orientação a projetos para a quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases do efeito estufa.	Especificação e orientação para validação e verificação de declarações relativas a gases do efeito estufa.

Fonte: Segundo ABNT, 2007.

Sendo o setor da construção civil um grande gerador de gases causadores do efeito estufa, 20% em processos de produção de materiais (CIB, 2002), quaisquer das ações que levem a reduções nas emissões serão bem recebidas pelo mercado.

Na construção civil tem-se muita energia consumida nos processos, desde a retirada de recursos das fontes naturais, até a construção da edificação. Considerando a exploração de recursos naturais, mineração, fabricação, transporte e mesmo funções administrativas, muito CO₂e é consumido. As emissões de CO₂e são altamente relacionadas à construção civil (CABREIRA, 2010).

Dessa forma, pode-se justificar o potencial de recursos financeiros disponíveis para a indústria da construção civil no mercado de carbono, sobretudo no setor de fabricação de materiais.

A Agenda 21, o protocolo de Quioto e quaisquer outras formas de assumir compromissos que mantenham o desenvolvimento e não levem a extinção dos recursos naturais do planeta, podem ser considerados como extremamente vantajosos para a espécie humana, até mesmo no âmbito da economia.

1.5 Políticas públicas para o desenvolvimento sustentável em São Luís - MA

A Agenda 21 Brasileira estabeleceu como meta o desenvolvimento de Agendas 21 Locais. Na cidade de São Luís, a Câmara de Vereadores assumiu o compromisso de implantar a Agenda 21 para o município.

Criada em 23 de março de 1999, através dos projetos de Resolução 03/99 e 06/99, após o Fórum Municipal do Meio Ambiente, a Agenda 21 local refletiu-se em grande mobilização sobre os problemas da cidade. Sendo criada por resolução no poder Legislativo, passou a contar com o apoio da sociedade civil e diversas empresas, tendo força de lei municipal (MARANHÃO, 2000).

No período, compreendido entre 1999 e 2004, uma comissão constituída por vereadores e membros da sociedade civil atuaram, de forma expressiva, na tentativa de alcançar as metas propostas pela agenda. Foram mitigados problemas no aterro sanitário da cidade de São Luís, saneamento, reflorestamento, além de trabalho de capacitação de jovens e adultos para formação de cidadãos conscientes, cumprindo as metas propostas pela agenda nacional.

O relatório produzido pelo Fórum Municipal do Meio Ambiente ressalta que a Agenda 21 local, ludovicense, tinha como base de sustentação, as políticas públicas. A partir de 2005 passou a encontrar problemas devido às mudanças políticas ocorridas na Câmara de Vereadores, sendo repassada ao executivo, e, posteriormente, passando a integrar o rol de atribuições da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (MARANHÃO, 2000).

Hoje, a cidade conta com Legislação Ambiental para o município, sendo atribuição da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, implantada em 2007, o controle dos empreendimentos instalados no município e o acompanhamento da Agenda 21 local. Não existe fórum de debate sobre metas e programas de sustentabilidade para a cidade.

Todo empreendimento a ser construído ou implantado na cidade deve ser submetido à análise prévia de viabilidade ambiental, devendo atender aos critérios estabelecidos na legislação municipal, estadual e federal para que possa obter sua licença de implantação e funcionamento. O ramo de construção civil tem hoje, como

estabelece a Resolução CONAMA n° 307³, a necessidade de indicação prévia do destino dos resíduos de uma obra.

Este controle feito pela Secretária Municipal do Meio Ambiente do município de São Luís, não faz parte da Agenda 21 local. Entretanto, pode ser considerado consequência de programas e metas desenvolvidos pela Agenda 21 Brasileira, que acabaram obtendo seu êxito ao introduzir significativas mudanças na forma de encarar o desenvolvimento.

Portanto, pode-se constatar que o modelo adotado para a implantação da Agenda 21 Local, em São Luís, encontrou entraves semelhantes aos enfrentados por outras cidades brasileiras, tendo forte participação de esferas do governo e pouco compromisso com os interesses reais da sociedade civil.

Comparando a cidade de São Luís com outras cidades brasileiras, a partir da pesquisa realizada por Kohler (2003) sobre as Agendas 21 locais nas cidades de São Paulo, Santos, Rio de Janeiro e Florianópolis, verifica-se que todas possuem como característica comum a formalização dos processos através de decretos, a coordenação das Agendas pelo órgão de gestão ambiental do município e a realização de reuniões e seminários para promover o envolvimento da população.

As cidades de São Paulo e Santos enfrentaram problemas de descontinuidade administrativa. O processo de implantação das Agendas 21 locais acabou sendo interrompido diversas vezes, ficando a mercê do interesse dos governantes (KOHLE, 2003).

De maneira diferente, tem-se o exemplo da cidade do Rio de Janeiro onde a implantação da Agenda 21 local ficou a cargo do Fórum 21, entidade não governamental, formado por representantes da sociedade civil. A Agenda 21 local passa a ter o papel de promover encontros entre formuladores de políticas públicas e o interesse público. Apesar de ser presidida por representante da Secretária Municipal do Meio Ambiente, a comissão que compõe o Fórum 21 não sofre descontinuidade por não ser órgão público.

No caso de Florianópolis, ainda segundo o estudo de Kohler (2003), semelhante ao Rio de Janeiro, o fato da Agenda 21 local ser oriunda de vários Seminários promovidos junto a comunidade culminou com a criação de uma

³ Conselho Nacional do Meio Ambiente, criada em 5 de julho de 2002, dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil.

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público – OSCIP, responsável pela viabilização dos projetos contemplados pela Agenda 21 local.

Na cidade de São Luís, a implantação da Agenda 21 local era, inicialmente, de responsabilidade da Câmara de Vereadores, mas, posteriormente foi repassada ao poder executivo, o que acabou por interromper a participação da população da cidade em debates para propor uma Agenda 21 de seu interesse (MARANHÃO, 2000).

Segundo Echebarria et al (2007) a falta de participação da sociedade é a causa do insucesso do programa nas cidades de seu estudo. Semelhante ao que ocorreu em São Paulo e Santos, a falta de comprometimento do Poder Municipal da cidade de São Luís limitou a atuação da Agenda 21 local. Conclui-se, a partir de Echebarria et al (2007) e Kohler (2003), que o governo tem papel preponderante para estimular e facilitar o desenvolvimento do processo.

Dessa forma, de acordo com o relatório produzido pelo Fórum Municipal do Meio Ambiente (MARANHÃO, 2000), o tratamento dado às questões ambientais, na cidade de São Luís, segue hoje modelos nacionais onde a atuação da Secretaria Municipal do Meio Ambiente repete as experiências bem sucedidas de cidades como o Rio de Janeiro.

O relatório sugere ainda medidas para o tratamento da gestão ambiental na cidade (MARANHÃO, 2000):

A estrutura sócio-econômica congrega as diferentes formas de interação ou integração Homem/Meio Ambiente, determinadas pelo padrão cultural e pelo grau de desenvolvimento tecnológico das populações. É importante que as ações conservacionistas dos recursos naturais e protecionistas das áreas reservadas, somem-se alternativas econômicas sustentáveis, menos impactantes sobre o meio ambiente e capazes de contribuir para o rompimento do círculo de pobreza de parte da população.

O controle e a minimização das fontes de poluição e o encaminhamento correto dos resíduos gerados pelas empresas e pela sociedade são para Valle (1996, p. 21) as soluções mais efetivas e concretas para assegurar a qualidade do meio ambiente.

Oportunidades de negócios são perdidas pelo fato de culturalmente considerar-se o gasto com a preservação do meio ambiente um custo adicional, Almeida et al (2004, p. 7) enfatiza que,

Sendo o meio ambiente um potencial de recursos ociosos ou mal aproveitados, sua inclusão no horizonte de negócios pode resultar em atividades que proporcionem lucro ou pelo menos se paguem com a poupança de energia, água ou de outros recursos naturais.

Fazer com que água e insumos sejam reutilizados o máximo possível, dentro do processo, leva a uma produção mais limpa além de melhorar a eficiência, lucratividade e a competitividade da empresa, protegendo o ambiente, o consumidor e o trabalhador (GIANNETTI et al, 2006).

No município de São Luís, observa-se a necessidade de adotar processos de revisão no uso de materiais nas obras civis. Acredita-se que muitos projetos podem ser revistos na busca de melhor adequar empreendimentos a construir as condições de Sustentabilidade Ambiental propostas nos instrumentos de gestão ambiental.

A seguir, tem-se a descrição de metodologias que visam permitir o desenvolvimento do setor construtivo com edificações que forneçam maior sustentabilidade durante todo o seu tempo de vida.

1.6 Metodologias para Certificação Ambiental

Para incentivar a busca pela sustentabilidade na construção civil foram adotados sistemas de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios. Estas metodologias servem como orientação ao mercado sobre o desempenho esperado para os edifícios, criadas a partir de instrumentos formados por métodos e softwares para a avaliação das edificações neste âmbito, chamados “sistemas de avaliação” (LARSON apud CISILLAG, 2007; ARAÚJO, 2009).

A preocupação ambiental aplicada à arquitetura e ao urbanismo, fundamentou a criação de diversos métodos de abordagem em muitos países europeus. Estes países se caracterizaram por terem uma legislação edilícia consolidada e incentivos fiscais para promoção de sustentabilidade em edificações (CABREIRA, 2010).

No Brasil, destaca-se o uso de várias metodologias importadas de países considerados desenvolvidos. Estas metodologias buscam estabelecer parâmetros mensuráveis para uma construção verde, *green building*. Comparando o

empreendimento com modelos pré-estabelecidos, pontuam a construção em níveis de certificação (GOMES, 2003).

Os sistemas podem ser agrupados em dois grupos, segundo Cisillag (2007):

- Os que atendem ao mercado, associados a alguma certificação de desempenho, como LEED e HQE.
- Os orientados para pesquisa, com ênfase em metodologia e fundamentação científica.

Tem-se como mais adotadas no país, a metodologia HQE e a LEED, que possuem seus desdobramentos para uso específico na fase de projeto do empreendimento. A metodologia *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), desenvolvida pelo *US Green Building Council* no ano de 1994, tem sua certificação conferida ao empreendimento que atender aos critérios verdes, após uma análise ponto a ponto. Será considerado seu orçamento com os atributos verdes e a similariedade com os valores sem considerar estes atributos (JACOMIT et al, 2009).

O LEED, criado nos Estados Unidos, é um sistema voluntário que conforme Cisillag (2000) tem como objetivos: definir Edifício Verde⁴ através de um padrão de pontuação; promover o reconhecimento da importância do meio ambiente no segmento construção civil; construir a consciência do edifício verde e transformar o mercado imobiliário; certificar os edifícios que atingirem as metas estabelecidas. Segundo o autor acima citado, o sistema LEED baseia-se na legislação e em normatizações norte-americanas para estimular a sustentabilidade.

De origem francesa, a metodologia *Haute Qualité Environnementale* (HQE) pode ser definida como a avaliação do custo total da obra considerado todo o balanço de seu ciclo de vida, incluindo manutenção e renovação. Trata de uma busca por atingir alvos específicos que irão determinar o grau da certificação a ser conferida (ZAMBRANO, 2008). O sistema HQE, lançado na França no ano de 1996, aborda o processo construtivo desde o projeto, visando estabelecer um perfil ambiental para o empreendimento, considerando níveis de decisão: ambiente externo, ambiente interno e atitudes do empreendedor; avaliação das fases de planejamento, concepção e realização; inserção de categorias de conforto e saúde

⁴ Green Building, construção que atende a requisitos estabelecidos pela metodologia de certificação.

dos usuários; aceitação de propostas alternativas para metas ambientais (CISILLAG, 2007).

De acordo com o autor acima citado, a estrutura de avaliação fundamenta-se em 14 metas ambientais denominadas “*cibles*”. A certificação é conferida através do cumprimento de metas de forma hierárquica, de acordo com as prioridades pré-estabelecidas entre as partes envolvidas.

Leva em consideração o projeto, a implantação e a manutenção da edificação, avaliando sua relação com o ambiente onde está sendo implantada.

Zambrano (2008) entende que a metodologia deverá ser aplicada na fase de projeto como suporte a um sistema de gestão ambiental para todo o ciclo de vida do empreendimento.

Como uma adequação da metodologia HQE ao cenário brasileiro, tem-se o processo Alta Qualidade Ambiental (AQUA), primeira certificação do país para construções sustentáveis e que leva em consideração as demandas e particularidades do Brasil (ARAÚJO, 2009). A metodologia se fundamenta em vários princípios que procuram levar a uma abordagem ambiental, respeitando os diferentes níveis de impacto, a Figura 2 mostra essa divisão hierárquica. Por meio do Sistema de Gestão do Empreendimento, onde são verificados os critérios de desempenho da qualidade ambiental, o processo prevê o controle total do projeto em todas as suas fases: programa, concepção, realização e operação (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2011).

Dessa forma, tanto o processo AQUA, quanto a metodologia HQE permitem que sejam consideradas as questões sociais, o que os torna mais adaptáveis ao uso em países em desenvolvimento.

Até 2009 o método AQUA e o Sistema LEED tinham seus requisitos sendo utilizados como orientadores do processo de projeto e construção visando à redução do consumo de energia. Na busca por suprir esta demanda e colaborar para o aumento da sustentabilidade nas edificações, o Governo Federal vem atuando significativamente para colocar em prática as ações que permitam o aumento da eficiência energética, sendo necessária a intervenção nas instalações consumidoras, através de medidas que otimizem a utilização das mesmas, sem comprometer a qualidade de vida e reduzindo o desperdício.



Figura 2 - Natureza dos Impactos Ligados aos Edifícios

Fonte: Adaptado de Fundação Vanzolini, 2011.

Atendendo a essa necessidade de aumento de eficiência energética, em julho de 2009 foi lançada a primeira etiqueta de eficiência para edifícios comerciais, de serviços e públicos. As primeiras etiquetas de eficiência energética para projetos de habitação brasileiros foram concedidas no dia 29 de novembro de 2010, quando do lançamento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para residências e edifícios multifamiliares (BRASIL, 2010b).

Assim como nos prédios comerciais, dependendo do consumo de energia verificado, os edifícios residenciais são classificados de "A" a "E", sendo "A", o mais eficiente (BRASIL, 2010b).

Os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que regulam a etiquetagem, foram desenvolvidos pela Secretaria Técnica de Edificações, coordenada pelo Procel Edifica, da Eletrobrás, e pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, e conta ainda com a participação de especialistas de diversas universidades brasileiras e representantes de instituições do setor da construção civil (BRASIL, 2010c)

Portanto, conclui-se que não existe uma metodologia única que consiga atender aos diversos interesses no processo de produção de uma construção sustentável. No entanto, os princípios que norteiam as metodologias são os mesmos. Assim como nas propostas feitas pelo programa de implantação de Agendas 21 Locais, o campo é aberto e fértil para a criação de metodologias que realmente atendam aos anseios locais.

1.7 Considerações sobre o capítulo

A grande variedade de nuances que envolve desenvolver com sustentabilidade acabou gerando a necessidade de se criar instrumentos específicos para a gestão ambiental. Estes instrumentos necessitavam aliar meio ambiente, economia e sociedade.

Não se pode falar de preservação ambiental sem suprir carências sociais básicas. Países em desenvolvimento não aceitam impor barreiras para seu crescimento, enquanto os desenvolvidos já atingiram patamares de desenvolvimento esgotando seus recursos. Para garantir o desenvolvimento sustentável atendendo às várias facetas de atingir a sustentabilidade, tanto social como, prioritariamente, a econômica, é essencial a procura por novas alternativas.

Para tornar a indústria construtiva mais sustentável é necessário buscar a integração entre os governos e a sociedade civil. As metas para o setor da construção civil incentivam a formação profissional e a divulgação dos processos de reutilização, reaproveitamento e reciclagem de resíduos. Levam a uma mudança nos conceitos gerenciais, com uma visão voltada para o ciclo de vida dos materiais e do empreendimento.

Uma forma de definir as condições de sustentabilidade de uma obra pode ser através da análise de todo o ciclo de vida dos produtos da edificação, bem como da própria edificação: a origem dos materiais utilizados, sua durabilidade, reciclagem, relação da edificação com seu entorno, dentre outros. Qualquer que seja a metodologia ou processo adotado, não necessariamente rotulado, é necessário que se faça uma análise das relações do empreendimento avaliado com o meio ambiente.

A análise de sustentabilidade de uma edificação pode ser feita a partir da quantidade de emissões de gases no ciclo de seus processos produtivos, permitindo determinar quanto de CO₂e é emitido. Este valor deve ser considerado para indústria de construção, pois pode permitir a entrada do setor em cenários econômicos ainda pouco explorados, como o mercado de carbono.

Dessa forma, é importante caracterizar o ramo e os insumos utilizados para que se possa chegar a um diagnóstico com propostas que visem melhorar a concepção de projetos de construção civil e, assim, aproximar sempre este importante setor industrial das condições e vantagens do desenvolvimento sustentável.

Para que se tenha uma construção civil sustentável, os resultados dependerão do perfil do arquiteto, designer ou engenheiro. As questões ambientais podem ser transformadas em estratégias competitivas para a empresa.

Portanto, o esforço brasileiro por uma construção sustentável deve ser orientado por processos e metas que permitam uma verificação de acordo com a realidade do país.

Torna-se fundamental conhecer a indústria da construção civil brasileira para que se possa entender as dificuldades do mercado nacional e as possibilidades de crescimento do setor. Assim, podem ser avaliados os fatores essenciais para o desenvolvimento sustentável de uma edificação.

O capítulo 2 apresenta uma caracterização da construção civil nacional, setor edificações, bem como, estabelece os principais insumos que aparecem em uma obra residencial multifamiliar de baixo padrão.

CAPÍTULO 2

2 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

A indústria de construção é um setor de atividade importante e que ocupa espaço vital na economia. São inúmeros os produtos gerados pela atividade do setor, entre os quais, casas, edifícios, escolas, ruas, pontes, etc.

As perspectivas para o setor da construção civil no Brasil e no exterior são bastante promissoras. No país, o setor apresentou um crescimento de 6% em 2010, com expectativa de 11% para 2011. Em nível setorial, entre janeiro de 2003 e setembro de 2010, a construção civil foi quem mais gerou empregos, atingindo 122,58% postos de trabalho no período (BRASIL, 2011).

A atividade de construção civil gera reflexos além de seus objetivos imediatos, pois, durante a construção dos diversos bens, gera também impactos sociais, econômicos e ambientais (SERRADOR, 2008).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), baseada nas características do produto final e na sua utilização, divide o setor em seis sub-setores: edificações, obras viárias, hidráulicas, sistemas industriais, urbanização e diversos.

Para Souza (2009), a construção civil pode ser dividida em dois sub-setores principais: o de infraestrutura e o de edificações. O sub-setor de infraestrutura é composto pelas obras de transporte, saneamento, energia e telecomunicações, enquanto o sub-setor de edificações pode ser dividido em obras relacionadas às obras de infraestrutura (terminais, estações de energia etc.), comerciais, industriais e residenciais.

As finalidades de cada sub-setor são as mais variadas. Marelli (2005) apresenta para o sub-setor edificações uma divisão baseada nas características e uso do produto, sendo, edifícios industriais, habitacionais, equipamentos urbanos, comercial e financeiro.

No sub-setor de edificações, o segmento construção de edifícios corresponde a 25,6% do volume de atividades de construção e a 22,7% do pessoal ocupado (VERGNA, 2007).

Indústria de caráter nômade, a construção civil caracteriza-se por ocupar espaços por tempo determinado, transportando-se para outros locais na busca de manter a sua produtividade, visto que seu produto final ficará no local de concepção e produção.

Estudo feito por Meseguer (1991, p. 13) define bem os principais aspectos da indústria de construção: “produtos únicos; tradicional; mão-de-obra pouco qualificada; sujeita a intempéries; vida útil longa; especificações complexas; grau de precisão menor que de outras indústrias”.

Em 2010 a falta de mão-de-obra na construção civil em todos os níveis de escolaridade, inclusive operários, é apontada pelas construtoras e incorporadoras como o principal gargalo a ser enfrentado. Isto se deve ao aquecimento do mercado em todas as regiões do país, simultaneamente.

O setor se destaca pela demanda por empregos para população de baixa qualificação, que atendem as camadas menos instruídas e mais carentes da sociedade (VERGNA, 2007). É o maior empregador industrial do país, onde para cada 100 empregos diretos são introduzidos 285 empregos indiretos (MARELLI, 2005). A carência de mão-de-obra qualificada diminui a capacidade de produção das empresas e o ritmo das obras.

Não somente a baixa qualificação técnica, mas também a pouca instrução tem sido entrave no desenvolvimento do setor. Estudo realizado pelo SENAI indicou que 54,40% dos operários apresentavam instrução deficiente (PINHEIRO, 2002). O problema da mão-de-obra pouco qualificada vem dando lugar a um novo obstáculo, o problema da mão-de-obra pouco instruída. A atuação do SENAI permitiu uma mudança na característica do setor. A afirmação de que a construção civil tem mão-de-obra pouco qualificada não pode ser uma afirmação que represente característica do setor.

Dados do SENAI fornecem números de treinamentos realizados entre os anos de 2008 e 2009, sendo de 32 mil alunos capacitados nos cursos de formação para atuarem no mercado da construção civil (BRASIL, 2011). Os dados representam o crescimento no número de capacitados em relação a períodos anteriores, demonstrando maior busca por qualificação.

Portanto, o setor da construção civil encontra-se em fase de adequação a um novo mercado que entende a sua importância, onde seus entraves tradicionais, como mão-de-obra, estão sendo superados pela atuação de órgãos de esferas

interligadas ao setor. O envolvimento de esferas governamentais e não governamentais é fundamental para que se atinjam as condições de desenvolvimento que se espera da indústria de construção civil.

O setor da construção acaba envolvendo inúmeros agentes em seus processos e atividades, desde a fase de planejamento, até a demolição. Empresários, investidores, engenheiros, arquitetos, usuários, entre outros, são os interessados diretos ou indiretos pelo produto final. Essa grande quantidade de participantes pode levar a dificuldades em estabelecer os limites de atuação de cada membro no processo.

O fato de as responsabilidades serem dispersas e pouco definidas complementa a lista de características da indústria da construção civil. Essa característica acaba gerando graves problemas de gerenciamento, levando a conseqüências como desperdícios e aumento de custos.

O desperdício gerado em obra durante a construção vem sendo assunto de várias pesquisas científicas, as quais relacionam estas perdas com o gerenciamento e os controles gerenciais. Desde a concepção de um empreendimento, todos os procedimentos podem apresentar relações com a questão da gestão de desperdícios nas obras de construção civil, através de ações que são resultantes da sua implementação. Portanto, a quantidade de desperdícios pode estar associada às decisões tomadas nas etapas ao longo do desenvolvimento do empreendimento.

Reduzir, reutilizar e reciclar é uma importante técnica para que se desenvolva o setor com rentabilidade. Segundo John (2000), a atividade construção civil é responsável por até 70% dos resíduos gerados em um município.

As perdas não são relacionadas somente a questões físicas da obra, estendendo-se além deste conceito, devendo ser entendidas como qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra e capital em quantidades superiores àquelas necessárias à produção da edificação. Nesse caso, as perdas englobam tanto a ocorrência de desperdícios de materiais, quanto à execução de tarefas desnecessárias que geram custos adicionais e não agregam valor (BARRETO, 2009).

As empresas de construção civil sempre carregaram consigo as marcas do desperdício de material. A esse respeito, Prado (2006) relata que a construção de edifícios é apontada como grande geradora de desperdícios, tendo como indicador o

percentual de perdas de materiais durante o processo construtivo em obras no Brasil (Tabela 2).

Tabela 2 – Desperdício na Construção Civil Brasileira

Material	Percentual de desperdício (%)
Areia	44
Argamassa	116
Cimento	56
Concreto usinado	09
Aço	10
Blocos / Tijolos	13
Tubos	15
Placas cerâmicas	14
Revestimento Textil	14

Fonte: PRADO, 2006.

A tabela 2 mostra a quantidade de material desperdiçado na obra. Observa-se quanto material pode ser reutilizado ou reciclado, trazendo economia para as construtoras e ganhos ao meio ambiente.

Segundo Lima (2003), na construção civil as atividades que agregam valor correspondem a um terço do tempo total gasto pela mão-de-obra. Dessa forma, pode-se constatar as perdas geradas pela falta de produtividade relacionada a horas sem trabalho ou devido a retrabalho.

O conceito de desperdício em obras de construção civil é geralmente associado a perdas materiais e a geração de resíduos e está relacionado à questão física das obras. No entanto, há também desperdício relacionado com perdas financeiras. As diretas são as que saem da obra como entulho, as indiretas permanecem na obra, e são subdivididas em perdas por substituição, por falta de planejamento e por negligência. Os índices de desperdício na construção ainda são muito elevados. Desperdício de material traz consigo o desperdício de recursos oriundos da natureza, gerando prejuízos ao planeta.

A redução das perdas passa necessariamente por uma modernização gerencial na indústria da construção civil. É fundamental aceitar a nova forma de ver o negócio para que a empresa possa atuar em um mercado cada vez mais exigente

e competitivo. As empresas passam a entender que programas de qualidade não são perda de dinheiro, mas na verdade, uma forma de garantir os ganhos futuros. Assim, passam a aderir programas de qualidade promovidos pelo governo, mostrando uma modernização nos conceitos de gestão.

É evidente a necessidade de rever processos de execução de serviços nas obras, buscando otimização com possibilidade de aumento do lucro e consequente redução de perdas. No Brasil, o acréscimo nos custos advindos do desperdício chega a 30% (GROHMANN, 1998). Pode-se concluir que a indústria da construção civil precisa atualizar seus processos produtivos através de uma modernização gerencial nas empresas.

2.1 Sistemas de gestão da qualidade na construção civil

O cenário da construção civil ainda apresentava em 2009 diversos problemas, dentre os quais, baixa produtividade, baixa qualidade do produto final, custos e prazos divergentes dos previstos e altos índices de perdas. Em razão deste desempenho ser diretamente vinculado a problemas de gestão, destaca-se a padronização do processo de produção e de atividades administrativas como uma das formas de atuação para reverter esta situação (YOSHIDA et al, 2009).

Para Santos et al (2002), há necessidade de modernização gerencial no setor da construção civil. Destacam a padronização como um importante requisito para a implementação destas filosofias gerenciais, tendo em vista sua contribuição para: (a) aumento da uniformidade do processo de produção e conformidade do produto final; (b) redução da variabilidade, permitindo assim, a gestão com pequena quantidade de estoques.

Segundo os autores acima citados, a cadeia produtiva da construção civil engloba quatro grandes grupos de atividades interconectadas: a indústria de materiais de construção e fornecedores; o comércio de materiais de construção; os serviços da cadeia da construção e a construção propriamente dita.

Esta abrangência na geração de negócios leva o setor a ocupar um lugar de destaque no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, ficando, com 8,50% desta fatia no ano de 2007. O setor atingiu um crescimento de parcela referente ao PIB, da

ordem de 21,70% entre 2004 e 2007, índices acima da economia nacional (ARAÚJO, 2009).

A indústria de materiais de construção foi responsável por 2,7% do PIB brasileiro de 2003, ou seja, 16% da cadeia da construção. Sendo 19,7% somente com a fabricação de cimento (SERRADOR, 2008). Já em 2007, a participação da cadeia produtiva da construção civil no PIB brasileiro foi de 1,57% na indústria de materiais (ARAÚJO, 2009).

As construtoras consumiram R\$ 22,8 bilhões em materiais de construção em 2004 e, os gastos com materiais de construção pelas famílias brasileiras representaram R\$ 30,7 bilhões em 2004, o que mensura a importância do mercado. Dos gastos com materiais pelas famílias brasileiras, tem-se que R\$ 14,3 bilhões foram com obras de manutenção e reparo e R\$ 16,4 bilhões com construções e reformas (SERRADOR, 2008).

A aplicação de técnicas efetivas de gerenciamento, visando o aprimoramento de processos produtivos e projetos, pode levar à obtenção de maior rendimento dos materiais, menor custo produtivo e de manutenção, melhor relação com o ambiente, e uma maior eficiência do projeto (PINHEIRO, 2002). Dessa forma, pode-se inferir que a indústria de construção civil, assim como vem ocorrendo em todo o setor industrial do país, precisa rever seus processos. Não somente os processos produtivos, mas, sobretudo os processos gerenciais, permitindo mudanças e adaptações de forma mais rápida e efetiva.

Considerando as dificuldades relacionadas à falta de padronização da qualidade do produto enfrentadas pelas indústrias de construção, e com o intuito de elevar os patamares da qualidade e produtividade da construção civil, o Governo Federal buscou intervir no processo, criando em 18 de dezembro de 1998 o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Habitação (PBQP-h), (Portaria nº 134/98, Ministério de Estado do Planejamento e Orçamento), hoje, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.

Ainda na busca pela qualidade e mais frequentes que o PBQP-h por serem adotadas para quaisquer setores da economia, tem-se as Normas da família NBR ISO 9000 que compreendem além da própria, as normas NBR ISO 9001, NBR ISO 9004 e NBR ISO 19011. Elas desenvolvidas para apoiar a implementação e operação de sistemas de qualidade eficazes.

A NBR ISO 9001 especifica requisitos para um sistema de gestão da qualidade que podem ser usados pelas empresas para aplicações internas, para certificações ou para fins contratuais. Acaba substituindo a procura pelo PBQP-h, pois muitas construtoras partem diretamente para a certificação internacional NBR ISO 9001. Semelhante aos sistemas de adesão voluntária, a norma preconiza que a adoção de um sistema de gestão da qualidade seja uma decisão estratégica da empresa.

Os princípios do PBQP-h são (BRASIL, 2009): adesão voluntária; uso do poder de compra de contratantes públicos e privados; abrangência nacional; descentralização na implementação das ações; visão integrada de Cadeia Produtiva; sistema evolutivo.

Um dos projetos propulsores do PBQP-h é o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras (SIAC), que é o resultado da revisão e ampliação do antigo SiQ (Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras).

O SIAC, instituído pela Portaria nº 118 de março de 2005 (Ministério das Cidades), tem como objetivo avaliar a conformidade do sistema de gestão da qualidade das empresas de serviços e obras, considerando as características específicas da atuação dessas empresas no setor da construção civil, e baseando-se na série de normas NBR ISO 9000 (BRASIL, 2009).

O Regimento do Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras (antigo SiQ), foi aprovado na reunião do Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação (CTECH), ocorrida em 24 de fevereiro de 2005. O SIAC substituiu o SiQ e acabou se tornando similar a norma NBR ISO 9001, diferenciando-se apenas quanto aos itens tratados, pois estão adaptados a construção civil.

O SIAC normaliza o PBQP-h, possui caráter evolutivo, estabelecendo níveis de qualificação progressivos, segundo os quais os sistemas de gestão da qualidade das construtoras são avaliados e classificados (BRASIL, 2009).

Considerando a importância de padronizar os processos e materiais usados na construção, como forma de obter maior qualidade e conferir maiores garantias aos consumidores finais, verifica-se a consolidação do programa com a ampliação crescente da participação de construtoras no PBQP-h (AGOPYAN, 2001).

Fator de relevância para a difusão e aceite do programa pelo mercado de construtores foram as possibilidades de adesão com auto declaração de conformidade para o nível inicial “D” (BRASIL, 2009). Logo na adesão, a empresa pode declarar-se participante do programa, atingindo a níveis sucessivos de acordo com o cumprimento de requisitos que levem a patamares similares ao de certificação ISO 9001, já no nível “A”.

A adesão voluntária se dá através de preenchimento de formulário a ser encaminhado ao Ministério das Cidades, acompanhado dos seguintes documentos: cópia autenticada em todas as folhas do Contrato Social; manual de qualidade, elaborado pela empresa, seguindo requisitos do referencial nível “D” do SIAC; cópia do CPF do declarante; cópia do Registro Geral do declarante.

O PBQP-h não está sendo muito adotado no mercado de construção do Estado do Maranhão. Existe a preferência, com divulgação para os clientes, de certificações NBR ISO 9001. Apenas construtoras ligadas a obras financiadas pela Caixa Econômica Federal buscam a adesão para facilitar o atendimento às normas internas para liberação de financiamento.

Em números fornecidos pelo Ministério das Cidades, órgão responsável pelo acompanhamento do PBQP-h, observa-se que apenas 2.300 empresas de construção civil estão engajadas no programa, sendo 248 empresas na região Nordeste e somente 31 no Maranhão, todas com sede na cidade de São Luís (BRASIL, 2011b).

A cidade de São Luís conta com poucas empresas de construção participantes do PBQP-h. Sendo, sobretudo, as que buscam financiamentos para empreendimentos no ramo habitação. Este número vem aumentando incentivado pelas condições impostas para liberação de crédito e o crescimento da cidade devido a novo contexto industrial.

Programas como o PBQP-h ou certificações de gestão da qualidade acabam trazendo vantagens que vão além dos ganhos financeiros gerados pela modernização de ações gerenciais e otimização de processos. O retorno vem também com o marketing que a inserção em processos de busca por maior qualidade proporcionam. A adequação a normas pode ser vista como forma de obter melhorias na empresa, com aumento de produtividade e rendimento ou para uma reorganização, visando explorar setores em franco crescimento, como o mercado de créditos de carbono.

2.2 Evolução da construção em concreto armado no Brasil

Os sistemas construtivos adotados pela construção civil brasileira variam conforme a região do país e o tipo de empreendimento que se está produzindo, considerando a disponibilidade de matéria prima. Têm-se como métodos construtivos mais utilizados no Brasil, as estruturas em concreto armado, alvenarias estruturais, estruturas metálicas e estruturas em madeira, estas mais utilizadas em coberturas.

As estruturas em concreto armado acabaram se tornando o sistema construtivo mais adotado no Brasil devido à cultura herdada das guerras mundiais, quando a importação de estruturas metálicas era economicamente impraticável (PINHEIRO, 2002). A característica do setor construtivo de baixa precisão, na grande maioria de suas obras (MESEGUER, 1991), viabilizou a difusão do uso de concreto armado convencional, para resistência aos 28 dias padronizada (CORDEIRO, 2010), com uso de cimento Portland comum ou composto e agregados, o que permite maior rapidez e mobilidade por serem produzidos no próprio canteiro de obras. Na Construção Civil, em sua grande maioria, as estruturas de concreto armado são moldadas em locais fixos, ou seja, local determinado pelo projeto estrutural da edificação.

O concreto é usado pela humanidade há muito tempo, introduzido desde os tempos dos romanos quando no oriente se iniciou a ideia de fazer uma pasta que, ao endurecer, transformava-se em pedra. Foi nessa época também que começou o desenvolvimento da interação de dois materiais distintos, as barras de bronze dentro da argamassa de pozolana e cal (VIEGAS, 2009).

Embora seja muito usado, este método de fabricação apresenta desvantagens para o construtor, tais como analisado por Souza (2009): falha no processo de moldagem, longo prazo para a conclusão do serviço (consequentemente, o prazo de conclusão da obra será maior), custos com a enorme quantidade de itens para a construção das peças de concreto no local da obra, aumento do número de empregados, desperdício de materiais e mão-de-obra, dificuldade para o controle de qualidade e produtividade da edificação, certa dificuldade em atender as normas de segurança no trabalho, entre outras.

A construção de concreto no Brasil acabou consolidando-se como a forma mais viável e mais difundida para se promover a industrialização da construção, tomando um impulso sem precedentes no período do segundo pós-guerra. A opção pelo "grande painel" de concreto, como resposta técnica e econômica às necessidades de reconstrução da Europa após a Segunda Guerra Mundial, converteu esta tecnologia num logotipo deste período.

A difusão de novas tecnologias no setor da construção civil tem sido lenta, principalmente devido ao ambiente comercial de competição em que está inserido. Embora seja um setor da economia faceado por novas tecnologias e mudanças na demanda, o que gera a necessidade de constante adaptação e difusão tecnológica (VERGNA, 2007).

A cautela do setor deve-se a aversão ao risco de comprometer o orçamento e prejudicar a competição comercial. Entretanto, o mercado habitacional leva os gestores das construtoras a uma busca pela produção em escala, exigindo continuar vendendo novos projetos a preços que não se encaixam no mercado. As empresas têm foco desviado para segmentos de renda média e baixa, onde os preços são comprimidos e sem elasticidade, o que pode comprometer a qualidade do produto final.

Portanto, o sucesso de uma tecnologia construtiva em qualquer empresa depende essencialmente de sua inserção na gestão integrada do processo de produção, que deve ser aplicada no desenvolvimento do empreendimento e na empresa como um todo. Falhas nesta gestão, sendo em projeto, planejamento, realização da obra, ou mesmo na etapa de uso e manutenção, podem causar leituras equivocadas de funcionamento da tecnologia dentro das empresas e, conseqüentemente, sua não consolidação, muitas vezes em caráter irreversível.

A gestão integrada da produção, em empresas de construção de edifícios, tem como objetivo a integração da empresa como um todo e de suas tecnologias construtivas, passando necessariamente por uma racionalização de processo, com a eliminação de atividades que não agregam valor (MELHADO et al, 1995).

A racionalização construtiva coloca-se como um elemento diferencial na estratégia das empresas. Particularmente, a racionalização das alvenarias de vedação do edifício pode significar uma vantagem para se alcançar o sucesso (LORDSLEEM JR., 2008).

Embora prevaleça o uso do concreto armado para as construções brasileiras, tendo o cimento como o insumo básico, a necessidade de inovações na busca pela redução de prazos e custos permite variações nesse conceito.

Para a construção de grandes conjuntos multifamiliares este caráter repetitivo e as modulações permitidas acabam diminuindo as perdas da construção, como a reutilização de fôrmas com retorno direto sobre os custos da obra.

2.3 Financiamento habitacional incentivando a construção civil brasileira

O setor construtivo voltado para produção de residências multifamiliares vem aumentando consideravelmente após o lançamento de programas que visam reduzir o déficit habitacional no país.

A Caixa Econômica Federal, banco que representa as ações do governo no incentivo à construção civil de novas habitações, divulgou seu balanço do exercício 2009 onde apresenta ter emprestado 71% de todo o crédito imobiliário disponível para o mercado. Informa que foram beneficiadas 896.762 famílias, sendo 275.528, referentes ao Programa Minha Casa, Minha Vida (REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO, 2010).

O banco, agente do Programa, prevê para 2010 a média de 60 mil unidades habitacionais por mês, representando ao final do ano o total cumprimento de sua meta anual.

A carência pela construção de habitações populares no Brasil ainda é grande, demonstrando um vasto mercado disponível no país, pois os números ainda estão bem aquém da meta estabelecida pelo agente do programa. Isto significa que o mercado da construção civil ainda terá um bom período de aquecimento.

Os estados do nordeste só atingiram 24% da meta estabelecida pelo Governo Federal, demonstrando que o agente financiador deve incrementar mecanismos para melhorar e facilitar as contratações na região.

Não só a Caixa Econômica Federal vem financiando empreendimentos, os números nos dão conta de apenas um dos programas de redução do déficit habitacional, porém, todos os bancos do sistema financeiro brasileiro estão habilitados e recebendo incentivos para o crédito imobiliário, buscando atender ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) implantado pelo Governo Federal .

Os recursos do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social vêm do Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT), nas condições estabelecidas pelo seu Conselho Deliberativo ; Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), nas condições estabelecidas pelo seu Conselho Curador ; Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) ; e outros fundos ou programas que vierem a ser incorporados ao SNHIS. Estes recursos estão disponíveis a todos os bancos do sistema financeiro nacional que tenham interesse em criar uma carteira imobiliária (BRASIL, 2009).

O Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) fixa alguns critérios e obrigações para a utilização dos recursos. Os municípios que pretendem receber os recursos do Fundo devem cumprir alguns requisitos, um deles é a criação de Fundo e Conselho com a apresentação de um plano de habitação municipal de interesse social. A União também tem a obrigação de elaborar um plano de habitação nacional, de forma a compatibilizar e integrar as políticas nacionais, estaduais e municipais, possibilitando a liberação dos recursos.

A lei que cria o FNHIS também abre a possibilidade de criação de Fundos, Conselhos e planos em caráter regional. O artigo 13 expõe que os recursos do FNHIS e dos fundos estaduais, do Distrito Federal e municipais poderão ser associados a recursos onerosos, inclusive os do FGTS, bem como a linhas de crédito de outras fontes.

O papel da Caixa Econômica Federal, na qualidade de agente operador do FNHIS, é atuar como instituição depositária dos recursos do FNHIS e definir e implementar os procedimentos operacionais necessários à aplicação dos recursos do FNHIS, com base nas normas e diretrizes elaboradas pelo Conselho Gestor e pelo Ministério das Cidades.

A redução de custos para a construção de habitações é extremamente importante para suprir a demanda por habitação no Brasil. O déficit habitacional do país é muito expressivo, sendo que, em 2006, era estimada a necessidade de construir quase oito milhões de novas moradias (SINDUSCON, 2008). Este déficit concentra-se na população com renda inferior a 10 salários mínimos, havendo um crescimento desta demanda quanto menor for a renda. Como esta população possui menor poder aquisitivo, para poderem construir e terem lucratividade, as empresas que atuam no segmento de baixa renda devem minimizar seus custos.

Este direcionamento às famílias de menor renda, considerando o prazo e a necessidade de reduzir os custos, leva as construtoras a optar pelo uso de modelos construtivos mais baratos. No caso o modelo descrito na NBR 12721/06 para habitações multifamiliares como projeto de interesse social, o PIS, sendo térreo e mais três andares (ABNT).

A tendência do mercado de construção vem seguindo conforme o programa de financiamento habitacional e a busca por empreendimentos residenciais para atender as famílias de baixa renda é hoje um dos incentivadores do mercado de obras civis.

2.4 Caracterização dos custos da construção com uso do concreto armado

A construção civil geralmente requer altos investimentos em um único produto final e o conhecimento do custo de um empreendimento se faz necessário já na fase inicial de concepção, mesmo antes de se ter concluído o projeto ou anteprojeto. É o ponto de partida para tomada de decisão da continuidade do processo de realização ou não de um empreendimento (SANTOS, 2009).

O orçamento é um resumo de todos os objetivos do projeto e suas sub-unidades, é uma expressão quantitativa dos planos do projeto. Segundo Cardoso (2009), orçamento é um documento que necessita de absoluta credibilidade perante os gerentes e técnicos, para que as informações produzidas possam funcionar como ferramentas gerenciais mais seguras.

O orçamento executivo, também chamado de orçamento operacional, é caracterizado por adequar as informações do orçamento aos dados obtidos em obra, conectando com o momento (tempo) da execução das operações na obra, ficando, portanto, mais próximo do planejamento (LIMMER, 1997). O Orçamento executivo, ao contrário do orçamento convencional que enxerga a obra como pronta, preocupa-se com os detalhes de como a obra vai ser construída. Em geral, a margem de erro de um orçamento decresce na medida em que mais informações sobre o empreendimento são disponibilizadas. Dados do IBEC (Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos) mostram que é possível obter uma margem de erro em torno

de 5% em um orçamento executivo. Para Mattos (2006), um orçamento é determinado somando-se os custos diretos (mão-de-obra, material e equipamentos), os custos indiretos (equipes de supervisão, despesas do canteiro de obras, taxas, e outros) e, por fim, impostos e lucro para chegar ao preço de venda.

O gerenciamento de custo permite controlar os fatores que criam as variações de custos e controlar as mudanças no orçamento do projeto. O orçamento é uma atividade fundamental dentro do gerenciamento de custos (SANTOS, 2009). Conforme Melhado e Agopyan (1995), o custo é determinado, principalmente, durante as fases de estudo de viabilidade e projeto, que apesar de representarem os menores gastos do empreendimento, concentram as maiores chances de reduzir falhas e custos.

O custo na construção civil é definido como o montante financeiro, proveniente de gastos com bens, serviços e transações financeiras, necessário à execução de um empreendimento, desde a etapa de estudo de viabilização até a sua utilização, durante um prazo pré-estabelecido (SANTOS; CHAGAS, 2009).

O custo total de uma obra é fruto do custo orçado para cada um dos serviços da obra. Um orçamento estará longe de ser completo se excluir algum serviço requerido pela obra (MATTOS, 2006)

Segundo Cardoso (2009), os orçamentos podem variar em função da sua finalidade e do nível de evolução ou detalhamento disponível dos projetos que servem de subsídio técnico à sua elaboração. Podem ser desenvolvidos segundo uma das quatro metodologias previstas para a orçamentação: método Expedito; método da Estimativa Preliminar; método do Custo Unitário; método das Áreas Equivalentes.

Ao utilizar o método de Orçamentação do Custo Unitário, devemos dispor de projetos de engenharia e informações que permitam estudar o empreendimento com detalhes (COELHO, 2001). Chama-se Composição de Custo o processo de estabelecimento dos custos incorridos na execução de um serviço ou atividade, individualizado por insumo. O Custo Unitário é o custo correspondente a uma unidade de serviço (MATTOS, 2006). Através do Custo Unitário Básico (CUB), pode-se calcular o custo global de uma construção, a partir das áreas equivalentes em área de custo padrão e da semelhança do empreendimento com um projeto-padrão definido pela norma (SOUZA et al, 2009).

De acordo com a norma ABNT NBR - 12721 (2006), o cálculo do custo global da construção é feito com base em um projeto-padrão que mais se assemelha ao do empreendimento. A partir deste projeto-padrão e da região em que o empreendimento será construído, seleciona-se o Custo Unitário Básico (CUB) divulgado pelo SINDUSCON de cada estado, mensalmente e, multiplicando este valor pela somatória das áreas equivalentes à área de custo padrão, chega-se a uma das parcelas do custo global de construção. A outra parcela é referente às despesas não incluídas no CUB, como fundações especiais, elevadores, equipamentos e instalações, playground, obras e serviços complementares e outros serviços.

A estimativa pelo CUB possui cálculos de quantidade de insumos e de mão-de-obra que podem não retratar as verdadeiras eficiências de uma empresa em particular; assim, podem ocorrer discrepâncias entre os valores estimados e os realmente praticados. Outra limitação desse método é que ele considera apenas fundações diretas (até 2,5 m de profundidade) em seu cálculo. Possui maior facilidade e rapidez no cálculo, pois as orientações para seu uso encontram-se amplamente divulgadas (Norma e Sindicatos da Construção).

Em relação à utilização de um mesmo método para diferentes empresas, o CUB é a melhor opção, pois seu cálculo considera diferentes tipos de acabamentos, projetos e regiões.

O prognóstico pelo CUB pode ser criticado em função de não levar em conta diferenças de eficiência vigente no mercado de construção, como relatam trabalhos sobre variação de produtividade (TCPO, 2008). Há que se perceber suas virtudes em termos da representação de produtos diferentes (expressos através das diferentes tipologias e padrões de acabamento), sendo ainda relevante o fato de os preços unitários do m² serem corrigidos constantemente.

Entre as principais causas da variação dos custos estão os custos diretos, que são definidos, em parte, pelos projetos através da especificação de materiais e respectivas quantidades de utilização e, também, pelo processo de comercialização. Por outro lado, também são fortemente influenciados pelo processo de produção, em virtude dos métodos construtivos empregados, que definem a utilização de equipamentos especiais (custos de mobilização, operação e desmobilização) e os quantitativos de mão-de-obra para a materialização do projeto no produto final (SERRA, 2009).

Ressalta-se que, além do controle físico da produção, existe necessidade de acompanhar e controlar os custos que deverão ser aderentes aos do orçamento básico. Porém, para o planejamento físico de uma mesma obra, a sequência mostra-se diferente em função da linha de raciocínio lógico de cada profissional. A principal dificuldade diz respeito a encontrar os dados de levantamentos dos custos reais da produção. Existem diversas medidas de racionalização que podem minimizar os custos, mas, nem sempre são implementadas (SERRA, 2009).

Dessa forma, portanto, para determinar os custos de um empreendimento deve-se conhecer todos os materiais, insumos e serviços que serão usados na obra, e da mesma forma, pode-se tomar ciência de todo o planejamento, tipo de materiais e insumos, bem como os serviços, a partir do orçamento de um empreendimento.

A composição de custo unitário de um material a ser usado na obra não apresenta itens que busquem suprir danos causados ao meio ambiente. A análise para estabelecer medidas prévias para um melhor aproveitamento dos recursos naturais é feita antes da definição dos materiais a serem orçados. Precede ao orçamento final.

Torna-se importante verificar o material a ser utilizado na obra, checar os insumos que irão compor o custo unitário, de forma a atuar previamente para a escolha de soluções de menor custo ambiental. É onde o olhar deve ir além das vantagens econômicas aferidas e contemplar a preservação de recursos para que se atinja o desenvolvimento com sustentabilidade. É importante observar por conceito que material é o “conjunto de objetos que formam uma obra” (FERREIRA, 2000, p. 451), onde podem se incluídos tijolos, pisos, blocos, entre outros.

Para estabelecer os insumos de maior importância, deve-se observar os componentes que compõem a produção do material. Tem-se como definição que insumo é “recurso usado na produção de algo” (FERREIRA, 2000, p. 394). Conhecendo o orçamento, podemos determinar os insumos mais importantes de um empreendimento. O orçamento reflete todos os custos para a execução do serviço, sendo parte integrante do planejamento da obra.

A Norma Brasileira - NBR 12721/06 visa atender ao que foi prescrito para a ABNT pela Lei Federal 4.591/64, com as alterações produzidas pela Lei 4.864/65 e posteriores. A norma preconiza o uso de Custos Unitários Básicos (CUB) pelos Sindicatos da Indústria da Construção (art. 54, Lei 4.591/64). Segundo Cardoso (2009), podem ser utilizados os valores e modelos da NBR 12721/06 para

estabelecer orçamentos prévios, determinando valores de obras mediante o custo unitário básico obtido de dados do SINDUSCON local. A partir o projeto-padrão para uma residência multifamiliar com projeto de interesse social (PIS), podemos ter a relação dos insumos necessários para a produção de um metro quadrado da obra. Os valores foram obtidos a partir da lista de insumos e serviços da tabela 04 da NBR 12721/06.

Para determinar os insumos de maior importância na obra, a partir da “Tabela Anexo 1”, os itens são ordenados de acordo com o Método de Pareto, Curva 80-20, ou, na chamada Curva ABC. A Curva ABC de insumos é exatamente uma relação de insumos, em ordem decrescente de custos. No topo estão os principais insumos da obra em termos de custos.

Quando se analisa uma listagem de insumos e seus respectivos pesos percentuais, concluímos que eles podem ser classificados em três classes (CARDOSO, 2009):

- Classe “A”- materiais de grande valor financeiro e pequenas quantidades físicas;
- Classe “C”- materiais de pequeno valor e grandes quantidades físicas;
- Classe “B”- materiais de valor financeiro e quantidades físicas intermediárias.

Segundo Mattos (2006), ao orçamentista é de suma importância saber quais os principais insumos, o total de cada insumo na obra e qual a sua representatividade.

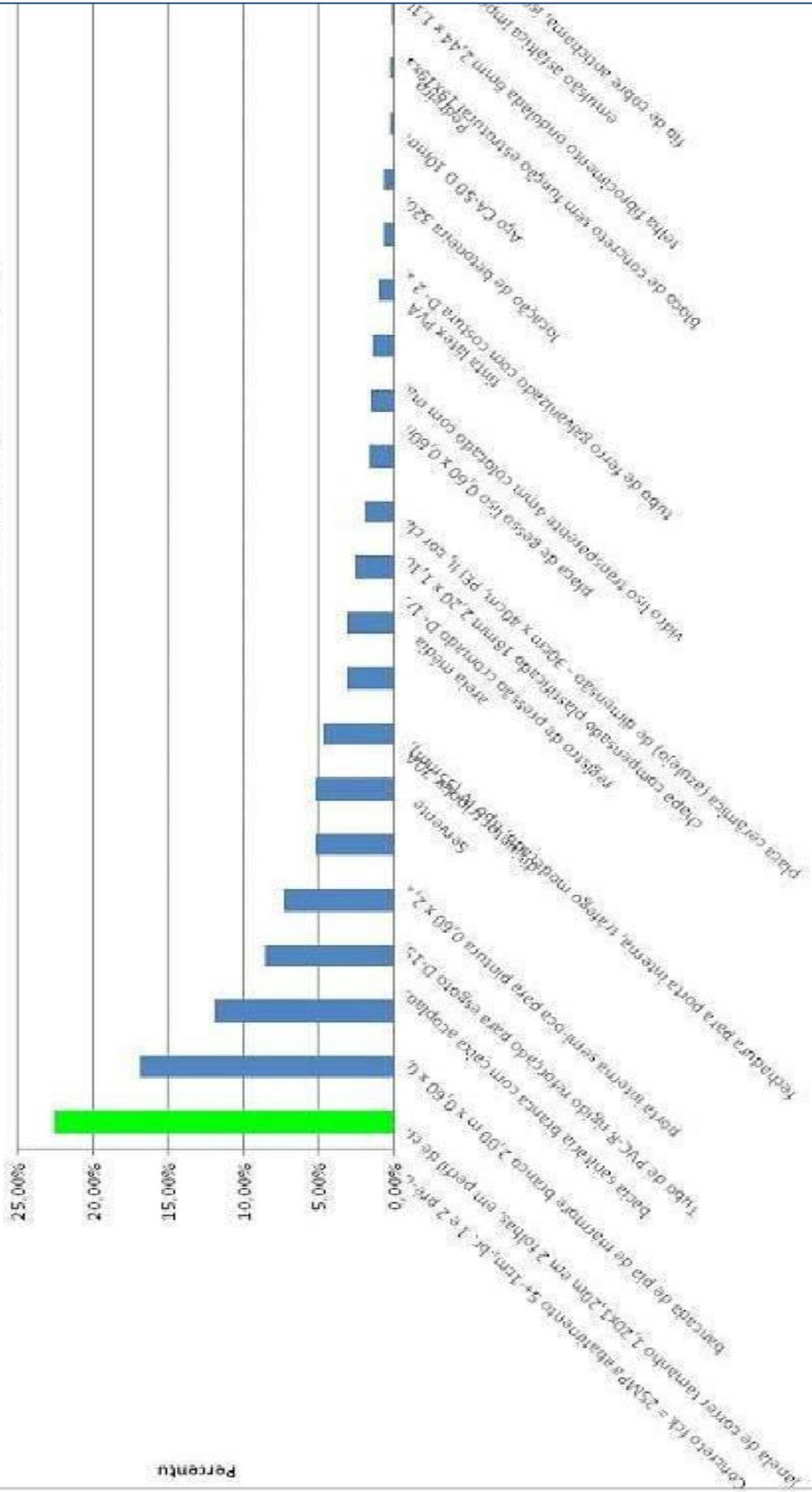
A representação da Curva ABC é feita utilizando o plano cartesiano onde, no eixo das abscissas é lançado o número de itens especificados como insumos e, no eixo das ordenadas, a participação acumulada em porcentagem (COELHO, 2001). Embora sem parâmetro fixado, Mattos (2006) recomenda que se adote para Classe A os insumos responsáveis por até 50% do valor orçado.

Como anexo 1 a esta pesquisa, tem-se a Tabela 11, adequada da tabela 04 da ABNT NBR 12721/06 – Lotes Básicos- projetos-padrão residenciais – Baixo, já com os preços dos insumos e serviços fornecidos pelo TCPO – PINI/08. Apresenta-se o Gráfico 2, Curva ABC, oriundo da “Tabela Anexo 1”, integrante dos anexos deste trabalho.

Observa-se, que embora representando pequena quantidade a ser utilizado por metro quadrado neste segmento, o concreto apresenta o maior valor financeiro entre os materiais e serviços orçados. Esta escolha nos remete a 22,48% dos custos da obra dentro dos 39,32% do total dos materiais que compõe a Classe “A” da Curva ABC.

Portanto, a partir da Curva ABC no Gráfico 2, pode-se identificar o concreto como um dos materiais inseridos na classe “A”. Dessa forma, define-se o concreto como o elemento de maior relevância da tabela de quantitativos fornecida para execução de uma edificação de acordo com o modelo proposto como Projeto de Interesse Social (PIS) na NBR 12721/06.

Gráfico 2 - Percentual do uso dos Insumos por m² no PIS



Insumos

2.5 Componentes do concreto armado

A norma brasileira para Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, NBR 6118/07 (ABNT, 2007), define concreto estrutural “como o espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural”.

Os chamados elementos em concreto armado são aqueles “cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais nas armaduras antes da materialização dessa aderência” (ABNT, 2007). Essa associação tornou-se possível graças aos seguintes fatores: boa aderência entre ambos; proximidade dos coeficientes de dilatação térmica; proteção do aço contra a corrosão gerada pelo envolvimento em concreto.

Poderão ser empregados no preparo do concreto, com o intuito de melhorar ou corrigir alguma de suas propriedades, os chamados aditivos. Este estudo não considera os aditivos por serem, algumas vezes, de caráter opcional e devido a pouca quantidade na mistura final.

Na execução de qualquer obra, ressalta-se a importância de estabelecer o tipo de concreto, sempre tendo em vista a finalidade a que se destina e o fator econômico. Para obras residenciais tem-se um concreto mais simples, chamado concreto comum, a base de cimento *Portland* e agregados.

Segundo Yazigi (2009), o concreto de cimento *Portland* é um material constituído por um aglomerante, pela mistura de um ou mais agregados e água. Sabendo-se que para produzir o concreto será preciso: aglomerante Cimento Portland e agregados, sendo comumente a areia grossa, brita, além de água e mão-de-obra.

Atribui-se a Isaac Johnson a produção, na Inglaterra de 1845, do primeiro cimento artificial de pega. A evolução da Cal Hidráulica artificial até o cimento Portland foi progressiva, chegando-se ao composto de natureza cálcica e argilosa de hoje (PETRUCCI, 1998). O cimento Portland produzido pela pulverização do clínker formado principalmente por silicato hidráulico de cálcio é constituído pela cal, sílica, alumina e óxido de ferro. Estes elementos equivalem a aproximados 95% ou 96% do total na análise de óxidos (BAUER, 2003). De acordo com o teor de adições, além da composição básica clínker e gesso, o cimento Portland passa a ter

características de uso específico. O quadro 2 apresenta os tipos mais usados de cimento Portland e as adições permitidas pelas normas brasileiras.

Quadro 2 – Tipos de Cimento Portland

Tipo de Cimento Portland		Adições		
		Material Pozolânico	Escória	Fíler Calcário
Cimento Portland Comum	CP I	0%	0%	0%
	CP I - S	1% - 5%	1% - 5%	1% - 5%
Cimento Portland Composto	CP II - E	6% - 14%	6% - 34%	0%-10%
	CP II - Z	6% - 14%	6% - 34%	0%
	CP II - F	6% - 14%	6% - 34%	6% - 10%
Cimento Portland de Alto - Forno	CP III	0%	35% - 70%	0% - 5%
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	15% - 50%	0%	0% - 5%
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	0%	0%	0% - 5%
Cimento Portland Resistente a Sulfatos	RS	0%	0%	0% - 5%

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

O cimento Portland comum, CP I, é o tipo básico de cimento Portland, indicado para o uso em construções que não requeiram condições especiais. A única adição presente no CP I é o gesso (3%). O gesso atua como um retardador de pega, evitando a reação imediata da hidratação do cimento. O CP I-S, tem a mesma composição do CP I, porém com adição reduzida de material pozolânico (ABNT, 1991).

Os cimentos CP II são ditos compostos por apresentarem a adição de outro material em sua composição básica. O CP II-E, contém adição de 6% à 34% de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação (ABNT, 1997).

O CP II-Z contém adição de material pozolânico que varia de 6% à 14% em massa, o que confere ao cimento menor permeabilidade, sendo ideal para obras subterrâneas, principalmente com presença de água, inclusive marítimas. O cimento CP II-Z, também pode conter adição de fíler no limite máximo de 10% em massa (ABNT, 1997).

O CP II-F contém adição de 6% a 10% de material carbonático (fíler) em massa (ABNT, 1997). Não é indicado para aplicação em meios muito agressivos.

O cimento Portland de alto-forno, CP III, contém adição de escória no teor de 35% a 70% em massa (ABNT, 1991b), o que lhe confere propriedades como:

baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, sendo recomendado tanto para obras de grande porte e agressividade como para estruturas de concreto simples.

O cimento Portland pozolânico, CP IV, contém adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa (ABNT, 1991c). Este alto teor de pozolana confere ao cimento uma alta impermeabilidade. O concreto confeccionado com o CP IV apresenta resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento Portland comum, quando comparado em longo prazo. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos (BAUER, 2003).

O CP V-ARI não contém adições (até 5% em massa de material carbonático). É produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila com moagem mais fina (ABNT, 1991d). É recomendado para obras onde seja necessário a desfôrma rápida de peças de concreto armado (ABCP, 2011).

Qualquer um pode ser classificado como resistentes a sulfatos, desde que se enquadre dentro de uma das características: teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa; cimentos do tipo alto-forno com 60% a 70% de escória granulada de alto-forno, em massa; cimentos do tipo pozolânico com 25% a 40% de material pozolânico, em massa (ABNT, 1992).

Para fabricar o cimento *Portland* é preciso seguir uma linha de produção industrial: extrair a matéria-prima nas jazidas; britar; moer; queimar; moer o clínquer; estocar.

Outro componente do concreto é a areia, tipo de agregado miúdo tem sua importância devido ao grande volume utilizado na produção de concreto e argamassa. Quando utilizada para concreto deve ser grossa, lavada e limpa (RIPPER, 1995. pág. 10). No caso específico da areia, é caracterizada como um agregado natural, formado geologicamente por grãos quartzosos com diâmetros entre 0,06 e 2,0mm. A NBR 7211/09, que trata dos agregados para concreto, classifica as areias em faixas que variam de “muito fina” à “grossa”. O agregado natural “areia grossa”, de classificação granulométrica entre 2,4mm e 4,8mm, pode ser encontrado em leitos de rios, quando é extraída por dragagem. Quando encontrada em valas é extraída por escavação.

A brita é um tipo de agregado graúdo tem sua importância devido ao grande volume utilizado na produção de concreto. Obtida a partir de rochas

compactas que ocorrem em depósitos geológicos pelo processo de fragmentação controlada da rocha maciça (BAUER, 2003). A pedra britada é obtida a partir de rochas compactas que ocorrem em depósitos geológicos, pelo processo industrial da fragmentação da rocha maciça (BAUER, 2003). É considerada um agregado graúdo, tendo cinco graduações em ordem crescente de diâmetro médio, variando de 2,4mm a 64mm conforme ABNT – NBR 7211/09.

Os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo do concreto estrutural sem aditivos. Não podem reagir perante o cimento e permanecer estáveis frente aos agentes que irão entrar em contato com o concreto (BAUER, 2003). Para extrair os agregados, faz-se necessário seguir a seguinte linha de produção industrial: extrair a matéria-prima nas jazidas; britar; peneirar (granulometria); transportar; estocar.

O aço é outro componente fundamental que irá compor toda a estrutura da edificação, sendo uma liga metálica proveniente do ferro:

Aço: obtido diretamente do minério de ferro pela redução direta. O aço CA-32 se enquadra na classe "A", juntamente com o aço CA-25. Os demais se encontram na Classe "B". São vendidos em barras de 10 a 12m ou fios quando o diâmetro é inferior a 12mm (BAUER, 2003, p. 650).

O aço é proveniente do minério de ferro. O ferro obtido diretamente do alto-forno é o chamado ferro gusa. Quando o teor de carbono fica em 0,20% o ferro adquire propriedades especiais, passando a ser chamado aço. Este pode ser obtido descarbonetando-se o gusa líquido, através de sopro de oxigênio, ou refundido-se a sucata juntamente com o gusa sólido em fornos a seco (BAUER, 2004).

Para fabricar o aço é preciso seguir a seguinte linha de produção industrial: extrair a matéria-prima nas jazidas; britar; lavar; fundir; estocar. Esses insumos que originam materiais de construção civil são oriundos de fontes naturais. Todos são explorados em jazidas, através de trabalho humano e mecânico. Os insumos descritos, quando juntos e devidamente dosados, darão origem ao material chamado concreto.

Odum (1996), observa que na produção de materiais não é considerado o trabalho da natureza na produção dos insumos. Ao comprar o cimento ou a areia, certamente o custo final considera todo o trabalho humano para sua produção, sem considerar o tempo gasto pela natureza para a criação da jazida.

Determinados os insumos de maior representatividade na obra, resta verificar como estes insumos se relacionam com o ambiente. Quais as suas

vantagens e desvantagens para a obra e para a humanidade, considerando todo o seu ciclo de vida, berço ao túmulo.

É importante lembrar que a ideia de cadeia produtiva não é fechada, pois cada material de construção empregado em uma obra possui sua própria cadeia produtiva que pode ir da extração a reciclagem. Compete ao construtor considerar os impactos gerados pela escolha do material, com custos que podem ser inseridos até mesmo no orçamento da obra como Bonificação e Despesas Indiretas (BDI).

2.6 Considerações sobre o capítulo

O fato de o setor da construção ser conservador fez com que as mudanças gerenciais fundamentais para a adaptação aos novos padrões, há muito implantados em outros ramos do setor industrial, demorassem para serem absorvidos pelas empresas.

As mudanças se devem ao novo contexto do mercado imobiliário, onde a grande demanda por moradias está voltada para as classes C e D, o que leva a necessidade de produzir edificações com baixa margem de lucratividade.

Como forma de intervir no setor e preservar a qualidade das habitações, o Governo Federal criou o PBQP-h que, embora de caráter voluntário, é condição para que construtoras sejam aceitas em programas para reduzir o déficit habitacional no país.

A partir das metas para a qualidade da edificação, estabelecidas pelo PBQP-h, reduzir as perdas tem sido o grande objetivo das construtoras, não somente perdas de materiais, mas de tempo e retrabalho devido a erros de gestão.

Dessa forma, a necessidade de construir para um mercado com pequeno poder aquisitivo, faz com que as empresas busquem soluções que garantam a produtividade sem desperdícios, refletindo em ganhos financeiros.

A busca por aproveitar o bom momento do mercado traz consigo um crescimento vertiginoso de todos os setores ligados à indústria da construção. O mercado de venda de materiais acompanha a demanda por obras, gerando um aumento significativo na indústria de produção.

Todo crescimento gera um aumento do consumo de recursos naturais, que em momento algum são considerados durante a elaboração dos custos de um empreendimento.

Encontram-se várias metodologias que avaliam o uso de determinados materiais na obra ou analisam a relação da edificação com o seu entorno e meio ambiente, porém, não se encontra nada que apresente relação entre o valor do imóvel e seu dano causado ao ambiente.

A escolha pela análise do ciclo de vida dos componentes do concreto armado, a partir de uma análise orçamentária, confirma a grande importância deste produto para o setor industrial, em que ainda predomina o uso de concreto como padrão construtivo fundamental.

Desse modo, torna-se importante apresentar os danos gerados ao ambiente pela escolha de uma construção onde prevalece o uso de concreto armado.

Como forma de determinar esse potencial de danos ambientais, no capítulo 3, será feita a análise de cada insumo considerado relevante, adotando como critério a emissão do CO₂e, principal gás gerador do efeito estufa. O estudo tomará por base a emissão de CO₂e como apresentado na literatura científica, gerado por queima de combustível ou consumo de energia elétrica (IPCC, 2006).

CAPÍTULO 3

3 CONSUMO DE INSUMOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Todo material utilizado na construção civil tem sua origem direta ou indiretamente na natureza. A definição de um material a ser utilizado na construção é responsabilidade do projetista na medida em que estabelece toda a tipologia da edificação.

Os produtos comercializados no mercado imobiliário, suas características, sustentabilidade e durabilidade são definidos nos projetos de arquitetura (NÓBREGA et al, 2009).

São inúmeros os estudos sobre ciclo de vida dos materiais e insumos utilizados na indústria da construção civil. Pulselli et al (2007) apresentam uma análise detalhada do ciclo da produção de concreto na Itália sem, no entanto, considerar a emissão de gases nocivos durante o estudo.

Brown e Ulgiati (2002) analisam a produção de CO₂e nas matrizes geradoras de energia elétrica, considerando fontes geotérmicas, térmicas eólicas e hidroelétricas nos Estados Unidos. Este estudo permite cientificamente estabelecer valores médios para os fatores de emissão de CO₂e em cada matriz geradora. Todos estes estudos buscam propor mudanças no processo da indústria da construção, permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais e diminuição do uso de recursos não renováveis.

Economicamente, o preço final de uma edificação só considera os custos ao longo de sua fase de produção a partir da intervenção do ser humano (ODUM, 1996). O ciclo de vida do material é avaliado a partir de sua exploração, ficando esquecido todo o trabalho da natureza para a produção do insumo básico, como a criação de uma floresta ou uma jazida, por exemplo. A técnica da avaliação do ciclo de vida implica em “analisar recursos, emissões, energia e impactos ambientais ao longo da cadeia de valor” (SEIFFERT, 2007). Essa técnica é uma forma de obter informações relevantes para as decisões a serem tomadas na elaboração de um projeto. Tomadores de decisões como os projetistas precisam de ferramentas que permitam coletar de forma mais diversificada possível as informações.

Para Lutzkendorf et al (2005), devido a mudanças constantes no cenário, a avaliação do ciclo de vida é um processo contínuo que deve ser mantido durante todo o ciclo de vida de uma construção. Entende-se que mudanças no comportamento social e desenvolvimento tecnológico obrigam a uma situação de revisão constante nos processos que formam o ciclo da vida.

Assim, conclui-se que avaliar o ciclo de um bem ou produto implica em constante adaptação a condições que podem promover alterações nos seus processos de construção ou manutenção.

A avaliação do ciclo de vida de um produto está condicionada às normas ISO 14040 e ISO 14044, sendo considerada para Seiffert (2007), em uma abordagem do berço ao túmulo. O processo produtivo é acompanhado até a fase de descarte do produto e suas implicações ambientais. A ISO 14040 é responsável por estabelecer os princípios e a estrutura de uma avaliação de ciclo de vida em vários países. Por definição, esta análise é a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ABNT, 2009). Sendo produto qualquer bem ou serviço.

Giannetti et al (2006, p. 43), definem que a avaliação do ciclo de vida é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. O foco da avaliação é o produto, devendo ser analisado todo o processo de manufatura, uso e descarte. Este caráter abrangente leva a necessidade de se estabelecer fronteiras para cada sistema a ser analisado. É importante ter bem definida a janela de tempo e espaço a ser considerada na avaliação.

Em uma avaliação de ciclo de vida devem ser consideradas quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e a interpretação dos resultados.

A Figura 3 nos mostra o processo de produção do concreto. Estabelece uma janela para a análise do ciclo de vida do cimento e do concreto, fundamental para definir os objetivos e a abrangência da pesquisa. Considera um estoque dentro da janela, responsável pelo depósito natural dos insumos que compõem o cimento, as jazidas. Apresenta como fatores que atuam sobre a produção do cimento: a água, os serviços humanos, energia e combustíveis.

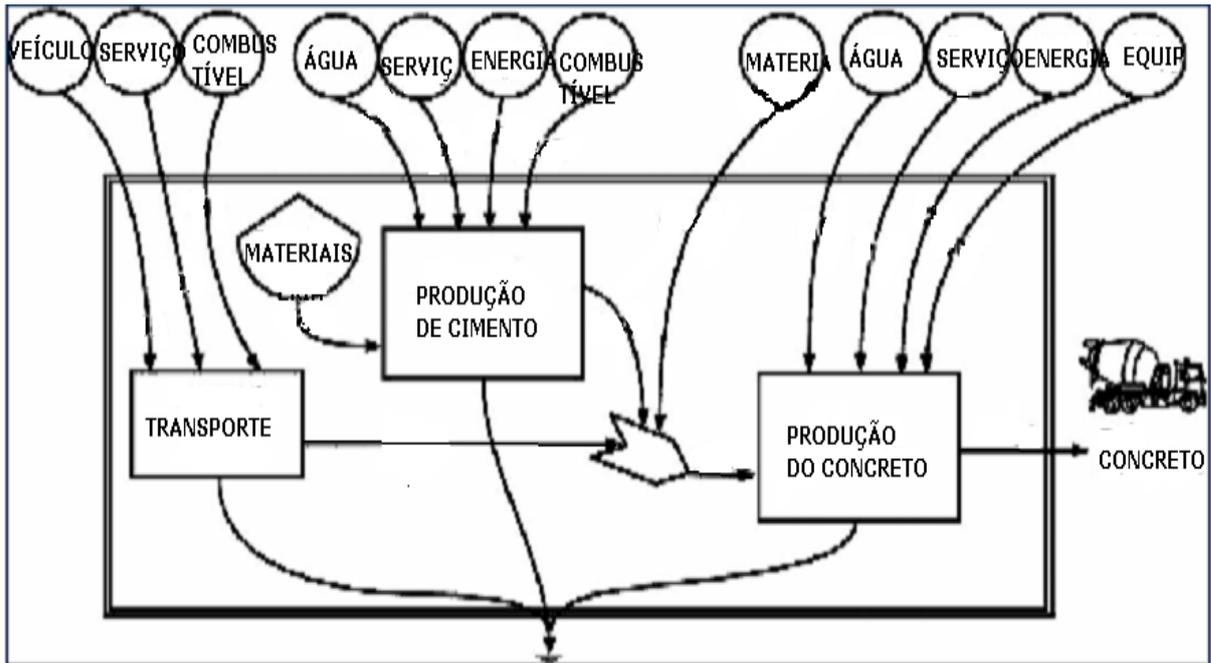
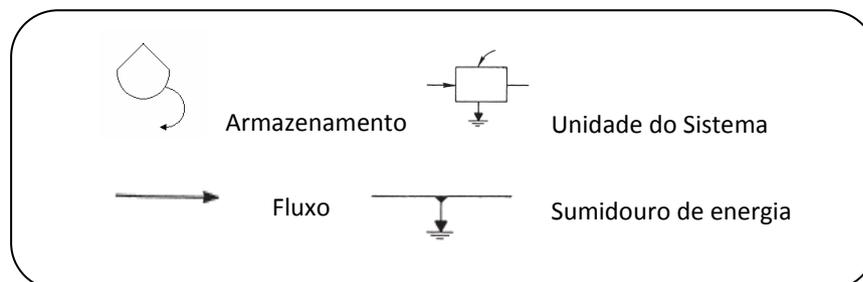


Figura 3 - Ciclo de vida do concreto

Fonte: Adaptado de PULSELLI, 2007

Legenda:



Para o concreto, a figura 3 contabiliza todo o processo de fabricação do cimento para computo na produção do concreto. Considera também a entrada de água, mão-de-obra, energia e equipamentos no processo de produção do concreto. Representa como um ciclo separado o transporte utilizado na produção de cimento e concreto.

Dessa forma, pode-se sugerir a sequência representada como um modelo a ser seguido quando da análise do ciclo de vida para elaboração de um inventário. Ficam bem definidas as etapas a serem analisadas e a área de abrangência da análise se partirmos de uma sequência pré-estabelecida, como a da figura 3, por exemplo.

A partir da figura 3, pode-se aplicar a sequência para a avaliação do ciclo de vida proposta na Norma Brasileira ISO 14040/09 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura:

- definição de objetivo e escopo: seria a aplicação pretendida e o sistema a ser estudado;
- análise de inventário: definida a área a ser analisada, fronteira do sistema, inicia-se a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas. Coletamos dados de aquisição de matérias-primas, transporte, uso de combustível, eletricidade, resíduos, reuso, reciclagem e manufatura de materiais auxiliares;
- avaliação de impacto: consiste em avaliar dados do inventário com indicadores existentes;
- interpretação do ciclo de vida: é a constatação da análise do inventário e da avaliação do impacto.

Da análise de interpretação dos resultados da avaliação do ciclo de vida, pode-se seguir a ISO 14044/09, Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações, fazendo a comparação, por exemplo, entre índices de CO₂e liberados pelo processo e os aceitáveis na natureza.

A ISO 14044 complementa os princípios e estruturas para a avaliação de ciclo de vida, fornecendo modelos e formas de comparação do inventário e resultados obtidos. Estes devem ficar bem definidos em relação a que parâmetro está se analisando a sustentabilidade de um material.

A figura 4 representa a estrutura por processo para cada etapa a ser avaliada quando da análise do ciclo de vida da produção do concreto armado. Descreve o ciclo de vida para a produção do concreto na obra, considerando a entrega de insumos diretamente no canteiro de obras, escopo deste trabalho, mostrando as etapas consideradas para a produção do concreto, e a fase de extração, transporte e produção dos insumos. A produção do concreto representada considera o concreto produzido na própria obra até a etapa de lançamento. Para a areia, a figura representa a exploração a partir de rio, através de dragagem. As etapas definidas nessa figura permitem estabelecer os parâmetros para a análise do ciclo de vida a ser estudado.

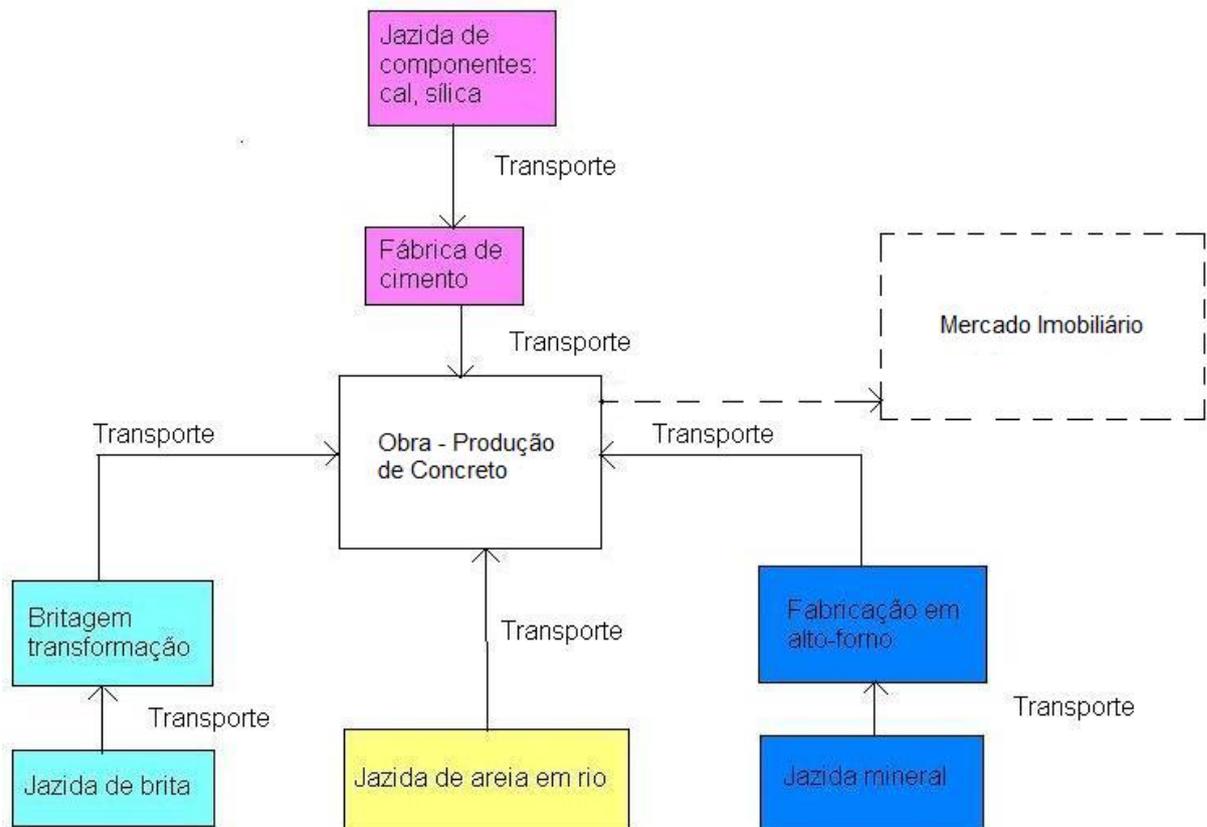


Figura 4 – Fluxograma do ciclo do concreto produzido na obra
 Fonte: O Autor, 2010

A produção de matéria prima que origina o concreto é responsável por 85% da emissão de gases. Durante a calcinação do cimento é produzido 69% do CO₂e do processo, restando 31% referentes ao uso de combustíveis fósseis (SJUNNESSON, 2005). Dessa forma, pode-se constatar que o ciclo para a produção do concreto armado tem elevada emissão de gases formadores do efeito estufa.

Adotou-se para fins de apresentação deste trabalho o processo de geração de CO₂e nos processos que envolvem os insumos, conforme NBR 14044/09 (ABNT, 2009). Sendo considerados apenas os insumos que participam da produção do concreto armado, de acordo com o método construtivo adotado.

3.1 Emissão de carbono no ciclo de vida do concreto armado

A partir do modelo proposto como PIS, Projeto de Interesse Social, será feito o estudo do ciclo de vida dos componentes básicos do concreto armado produzido “in loco” para obras na cidade de São Luís, o cimento, o aço e os agregados areia e brita. Estes recursos são tidos como não renováveis, devido ao tempo elevado para a sua reposição natural pelo meio ambiente.

A areia, a brita e o cimento são recursos disponíveis no estado do Maranhão. O aço é proveniente de uma siderúrgica situada na cidade de Recife, estado de Pernambuco, sendo obtido a partir de transformação em alto-forno com o uso de sucatas, especificamente na fabricação das barras para concreto armado. Sua extração é feita no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais, como informado pela siderúrgica.

A madeira reflorestada usada para fôrmas não será considerada neste estudo por tratar-se de recurso renovável ao ser oriunda de replantio, devendo ser vista de maneira isolada, merecendo outro estudo, pois contabiliza ganhos ao meio ambiente. Cabe considerar que o madeiramento na confecção de fôrmas para o concreto é de aplicação provisória (BORGES, 2004). Embora de grande valor ambiental, por não ter sido considerado material Classe A na análise da curva ABC, e devido a suas condições de reutilização durante o processo de produção de peças em concreto, ficará fora do escopo deste trabalho.

A emissão de CO₂e referente ao processo de captação da água para uso no concreto armado moldado “in loco” será calculada considerando os aquíferos subterrâneos, conforme a prática adotada pelas construtoras de São Luís.

Considerando que a queima de combustíveis fósseis é base da economia industrial, podendo ser encontrada desde a produção de energia elétrica, no transporte e em fontes geradoras de aquecimento (ANDRYSCO, 2008), a análise dos impactos ambientais será feita contabilizando-se as emissões de CO₂e liberados nos processos que levam a produção e lançamento do concreto armado, incluindo as etapas de extração, transformação e transporte dos insumos: aço, areia, brita e cimento. Para este trabalho, seguindo relatório do IPCC (2006), somente serão considerados para análise da emissão de CO₂e os equipamentos cuja matriz energética é o combustível fóssil ou energia elétrica.

Em relação à energia elétrica como fonte emissora de CO_{2e}, tem-se a geração de 0,01163 kg de CO_{2e} para cada 1kWh consumido. Dados referentes a matriz geradora de energia elétrica por meio de Hidroelétricas, valor compatível com o modelo brasileiro (BROWN; ULGIATI, 2002). A média de emissão para a região sudeste foi de 0,0293kg de CO_{2e} por kWh, segundo relatório da equipe CentroClima (2008). Considerando que a cidade de São Luís é alimentada pelo sistema Boa Esperança, uma vez que o estado do Maranhão ainda não faz parte do sistema nacional interligado, será adotado neste trabalho o valor de 0,01163 kg de CO_{2e} para cada 1kWh consumido, encontrado em Brown e Ulgiati (2002).

Os dados sobre emissão de CO_{2e} na geração de energia elétrica, consumo de diesel e o rendimento de veículos adotados para este estudo, possuem similaridade entre as matrizes energéticas apresentadas e a realidade nacional. Embora realizado em uma cidade do nordeste, pretende-se contribuir para um modelo de análise que seja útil para todo o país.

Como fonte de dados para aferir consumo e rendimento de máquinas e equipamentos, fundamentais para determinar a produção de CO_{2e}, durante o ciclo de vida dos insumos, usou-se a Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2008). É uma publicação técnica adotada como referência em diversos setores da construção civil brasileira.

Entende-se que os valores a serem calculados a seguir são válidos para mensurar as emissões de CO_{2e}, desde que aplicados onde o rendimento dos veículos seja similar ao desta pesquisa e com a mesma matriz energética.

A avaliação do ciclo de vida dos insumos do concreto armado será feita considerando a emissão durante os processos de extração, transformação, transporte, e produção e lançamento do concreto. Aqui, considera-se transformação o processo de produção final do insumo para atingir as condições de aplicação em seu uso comercial.

Para calcular a emissão de carbono em cada etapa do ciclo de vida que leva a produção do concreto armado é necessário identificar os equipamentos que atuam nos processos e sua respectiva matriz energética. Selecionam-se os equipamentos que são responsáveis pela emissão de CO_{2e}, a partir de cada processo analisado: extração de insumos, transformação dos insumos, transporte dos insumos, captação de água, produção e lançamento do concreto.

Buscando identificar o consumo de energia de equipamentos que atuam nos processos analisados, realizou-se uma pesquisa junto aos fabricantes dessas máquinas e os resultados obtidos estão no Quadro 3. Conforme pode-se observar, os equipamentos adotados são os que apresentam o melhor rendimento.

Quadro 3 – Capacidade e Potência de equipamentos de mineração por fabricante.

Fabricante	Zenith		SBM		Kefid	
Equipamento	Potência (kW)	Capacidade (t/h)	Potência (kW)	Capacidade (t/h)	Potência (kW)	Capacidade (t/h)
Britador primário	1,5	5,5	5,5	5	-	-
Britador secundário	45	110	55	50	30	60
Peneira vibratória	15	80	5,5	7,5	-	-
Correia transportadora	7,5	60	3	80	-	-

Fonte: Adaptado do manual dos fabricantes, 2011

Obs: “-“ dados não encontrados

Com base na TCPO/08 e dados dos fabricantes (Quadro 3) , listam-se os equipamentos cuja matriz energética emite CO₂e:

- Britadores de mandíbula, para produção de 5,50 toneladas por hora, tem-se um consumo de 1,50 kWh (Quadro 3);
- Escavadeiras, sobre esteira com capacidade de carga coroada de 5.800 litros, tem-se o consumo de 74,50 litros de diesel por hora. Produz 145 m³/h em terreno rochoso (MATTOS, 2006);
- Caminhões basculante com capacidade de carga de 15,46t e caçamba de 6m³, tem-se o consumo de 1 litro de diesel para cada 3 quilômetros, segundo dados de estudo desenvolvido pela equipe CentroClima (2008). Mattos (2006) sugere que a velocidade média de um caminhão carregado é 25km por hora, assim teremos o consumo de 8,33 litros de diesel por hora, se considerado ciclo contínuo.
- Correia transportadora, para produção de 80 toneladas por hora, tem-se um consumo de 3 kWh (Quadro 3);
- Dragagem para extração de areia com capacidade de extração de 25 m³/h e consumo de 31,25 litros de diesel a cada hora, conforme

informações da empresa que explora a jazida do rio Itapecuru, estado do Maranhão;

- Britadores Secundário com capacidade para produção de 110 toneladas por hora, tem-se um consumo de 45 kWh (Quadro 3);
- Britadores de mandíbula, terciário, com capacidade para produção de 110 toneladas por hora, tem-se um consumo de 45 kWh (Quadro 3);
- Peneira Vibratória com capacidade para produção de 80 toneladas por hora, tem-se um consumo de 15 kWh (Quadro 3);
- Betoneira Elétrica com capacidade de amassamento de 400 litros consome 1,50 kWh (TCPO, 2008);
- Guindaste Hidráulico com capacidade para até 30 toneladas consome 36,50 litros de diesel a cada hora (TCPO,2008).

Com base nas informações sobre os equipamentos utilizados nos processos, chegamos as equações que permitem estabelecer a quantidade de CO₂e emitida:

Equação 01- Para motores a diesel, têm-se:

$$E_1 = E_m \times I$$

Sendo,

E₁ – total de CO₂e gerado pelo veículo

E_m – Emissão em kg (2,604 para diesel)

I – litros consumidos

O valor de 2,604kg de CO₂e por litro de diesel está disponível no relatório da equipe CentroClima (2008).

Dados da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), retirados do Inventário Nacional sobre a Emissão de Gases do

Efeito Estufa - Energia (IPCC, 2006), apresenta que valores calculados para veículos europeus pesados, movidos a diesel, são semelhantes a brasileiros (ÁLVARES JR, 2009). Encontram-se, em relatórios da UNFCCC (2009), informações sobre o rendimento de caminhão movido a diesel na ordem de 3,1km por litro. Para este estudo será adotado o rendimento de 3km/litro.

Equação 02- Para motores a energia elétrica, tem-se:

$$E_2 = E_e \times kW$$

Sendo,

E₂ – total de CO₂e gerado pelo equipamento

E_e – Emissão em kg (0,01163 para energia elétrica)

kW – kiloWatts consumidos.

O valor de 0,01163kg de CO₂e por kW está disponível em Brown e Ulgiati (2002).

Listando os equipamentos em ordem crescente de utilização em cada processo, tem-se para os insumos a seguinte tabela de emissão de CO₂e durante uma hora de trabalho (Tabela 3).

Os valores da emissão encontrados na Tabela 3 são obtidos da seguinte forma:

- aplicando-se a *equação 01*, para equipamentos com motor a diesel, multiplicando-se o consumo em litros pelo valor em kg/l de emissão de CO₂e, fornecido pela equipe CentroClima (2008);
- aplicando-se a *equação 02*, para equipamentos elétricos, multiplicando-se o consumo em kWh pelo valor em kg/kWh de emissão de CO₂e, fornecido por Brown et al (2002).

Tabela 3 - Emissão de CO₂e X uso de equipamentos por hora

Equipamentos	Transporte (litros)	Energia (kWh)*	Emissão de CO ₂ e (kg)**
Britador de Mandíbulas	-	1,50	0,017
Escavadeira	74,50	-	193,998
Caminhão	8,33	-	21,700
Correia transportadora	-	3,00	0,035
Draga	31,25	-	81,37
Britador Secundário	-	45,00	0,523
Britador Terciário	-	45,00	0,523
Peneira Vibratória	-	15,00	0,174
Betoneira elétrica	-	1,50	0,017
Guindaste hidráulico	36,50	-	95,046

Fonte: O autor, 2010

Obs: * Dados de consumo de energia elétrica fornecidos pelo fabricante (Quadro 3).

** Dados de consumo de combustível retirados da TCPO (2008).

Coluna Emissão de CO₂e obtida aplicando-se a *equação 01*, para motores a diesel, e a *equação 02*, para consumo de energia elétrica.

A partir dos valores de emissão estabelecidos para os veículos e equipamentos que participam dos processos nos ciclos de vida dos insumos que compõem o concreto armado, e produção e lançamento do concreto, pode se estabelecer valores e equações para emissão gerada por cada insumo e em cada etapa dos ciclos analisados.

3.1.1 Emissão de carbono no ciclo de vida do aço para concreto armado

Os minérios de ferro apresentam-se sob a forma de carbonatos, óxidos e sulfetos. O Brasil possui 22% das reservas mundiais conhecidas, sendo sua ocorrência na Serra do Caraça, Minas Gerais, o suficiente para abastecer o planeta por 150 anos (BAUER, 2004).

A extração do minério de ferro é feita a céu aberto, visto que a sua ocorrência é em grandes massas. A concentração se dá por uma passagem em britadeira, seguida de classificação por tamanho.

O caminhão transporta 6m³ por viagem o equivalente a 47.100kg (obtido multiplicando 6m³ pela massa unitária do aço - 7.850kg/ m³).

Transformando em kg:

$$P = V \times d \quad \text{onde:} \quad \begin{array}{l} V \text{ é o volume do material} \\ P \text{ é o peso do material} \\ d \text{ é a massa unitária} \end{array}$$

$$P = 6 \times 7850 = 47.100\text{kg}$$

Adota-se a capacidade máxima do veículo que é de 15.460kg, segundo TCPO (2008).

Se emite 21,70kg de CO_{2e} por hora, conforme tabela 3, tem-se para 1kg de aço a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 21,700/15.460 = 0,0014\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0014kg de CO_{2e} / kg

A Correia transporta 80.000kg por hora (Quadro 4);

Se emite 0,035kg de CO_{2e} por hora, conforme tabela 3, tem-se para 1kg de aço a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,035 / 80.000 = 0,0000004\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0000004kg de CO_{2e} / kg

Tem-se para o insumo a tabela 4 de emissão de CO_{2e} para 1kg de aço:

Tabela 4 - Emissão de CO₂e X uso de equipamentos por 1kg de aço

Equipamentos	Emissão de CO₂e (kg)
Britador de Mandíbulas	0,000003
Escavadeira	0,0002
Caminhão	0,0014
Correia transportadora	0,0000004
Total (valor "A")*	0,0016

Obs: * Valor a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

A partir do total de emissões neste processo, pode-se estabelecer uma equação para determinar valores de CO₂e emitidos para outras quantidades de minério extraído:

Equação 03-

$E_{\text{ex. aço}} = Q_{\text{aço}} \times A$ onde: $E_{\text{ex. aço}}$ é o total da emissão no processo

$Q_{\text{aço}}$ é a quantidade de aço

A o valor encontrado na tabela 4

A fabricação de ferro e aço é feita por variados processos pirometalúrgicos, eletrolíticos e mecânicos. As rotas principais de produção são duas: através da redução do minério de ferro e sucata em alto-fornos, empregando-se coque/carvão, ou a redução direta em fornos elétricos (HENRIQUES JUNIOR, 2010).

A etapa de transformação do minério se dá a partir de seu lançamento no alto-forno, quando começa o processo de fundição. Hoje existem fornos que utilizam energia elétrica, em países onde ela é mais barata, mas o usual é o coque. O coque é obtido pela destilação seca do carvão de pedra. A carga do forno é constituída do combustível, do minério e de substâncias que visam tornar mais baixo o ponto de fusão, chamadas fundentes. Na cuba, zona do alto-forno onde ocorre a transformação, o óxido de carbono proveniente da combustão reduz o minério a metal. Esta operação é motivada pelo ar quente reagindo com o coque. O metal puro goteja até a zona de captação (BAUER, 2004).



O ferro obtido diretamente do alto-forno é o chamado ferro gusa. O aço é produzido com a descarbonatação do ferro gusa líquido através do sopro de oxigênio (BAUER, 2004). Basicamente ocorre emissão de dois gases durante todo o processo, sendo o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2e). A emissão ocorre em dois momentos, quando da queima de combustíveis fósseis e consumo de energia elétrica, e quando do processo de transformação de óxidos de ferro em ferro, devido a uma reação exotérmica (IPCC, 2006).

A literatura atende recomendação do Inventário Nacional sobre a Emissão de Gases do Efeito Estufa – Indústria de Metais (IPCC, 2006) e fornece valores finais de CO_2e . O Inventário Estadual de Fontes Fixas (CETESB, 2007), apresenta valores de emissão baseado nos dados apresentados no relatório sobre a indústria de metais do IPCC (2006), sendo de até 1,46t de CO_2e para cada tonelada de aço produzido em alto-forno com uso de sucata.

Considerando os dados encontrados na literatura, para este trabalho, será adotado o valor fornecido pela CETESB (2007). O valor é baseado em dados de indústrias no estado de São Paulo, porém, o processo é descrito com características bem similares as de outras siderúrgicas nacionais.

Se no processo de fabricação ocorre emissão de CO_2e na ordem de 1.460kg para cada tonelada de aço produzido em alto-forno.

Transformando 1 tonelada de aço, tem-se:

Para 1.000kg de aço a emissão de 1.460kg de CO_2e ;

Para 1kg de aço a emissão de 1,46kg de CO_2e .

1,460kg de CO_2e / kg *

* Valor chamado "B" a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

A partir do valor encontrado, pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões para outras quantidades de aço transformado:

Equação 04-

$E_{\text{tf aço}} = Q_{\text{aço}} \times B$ onde: **$E_{\text{tf aço}}$** é o total da emissão no processo

$Q_{\text{aço}}$ é a quantidade de aço

B o valor de kg de CO₂e / kg de aço transformado

3.1.2 Emissão de carbono no ciclo de vida da areia para concreto armado

As areias como material de construção provém de rios, de cava, de britagem ou de escória de alto-forno. Normalmente o material utilizado em obras é proveniente de rio, oriundas de depósitos sedimentares encontrados nos leitos e com extração através de dragas de sucção, que bombeiam a água para lagoas de decantação de onde o material é retirado. Para determinar a emissão de CO₂e torna-se importante estabelecer o consumo de combustível da draga.

Segundo dados encontrados na pesquisa de campo realizada no parque de dragagem que atua na exploração das jazidas do rio Itapecuru, estado do Maranhão, o consumo de diesel é em média 31,25 litros por hora de produção da draga. Tendo como capacidade produtiva 25m³ a cada uma hora.

Dessa forma, tem-se a geração de 81,37 kg de CO₂e a cada hora de trabalho produtivo da draga, conforme valores apresentados na tabela 3 para emissão por litro de óleo diesel consumido.

Logo, a draga bombeia 25m³ por hora ou se multiplicado pela massa unitária (1.500kg/m³) para transformar em peso:

$$P = V \times d$$

onde: **P** é o peso do material

V é o volume do material

d é a massa unitária da areia

(PULSELLI et al, 2007).

$$P = 25 \times 1.500 = 37.500\text{kg}$$

Se emite 81,37kg de CO₂e por hora, tem-se para 1kg de areia a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 81,37/37.500 = 0,0023\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0023kg de CO₂e / kg *

* Valor chamado "C" a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

Pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões para outras quantidades de areia extraída:

Equação 5 -

$E_{\text{ext. areia}} = Q_{\text{ar}} \times C$ onde: $E_{\text{ext. areia}}$ é o total da emissão no processo

Q_{ar} é a quantidade de areia

C valor encontrado para emissão de CO_2e / kg de areia extraída

Por ser um material de aplicação em estado natural, não necessita de transformação, sendo necessário apenas, eventualmente, a sua classificação granulométrica por peneiramento, normalmente no canteiro de obras (BAUER, 2003).

3.1.3 Emissão de carbono no ciclo de vida da brita para concreto armado

A brita é produzida em pedreiras, através de sucessivos processos de cominuição, que é a redução da rocha a fragmentos de tamanhos adequados ao uso que se pretende. Na jazida, a rocha é fragmentada por meio de explosivos, chamados fogos de bancada, produzindo o bloco a ser transformado.

Nesta etapa são utilizados escavadeira, caminhão e correias de transporte para que a rocha chegue ao processo de transformação.

Dessa forma, verifica-se a capacidade de carga dos veículos e equipamentos para estabelecer os valores da emissão por quilograma:

Se a escavadeira produz 145 m^3 por hora, conforme apresentado por Mattos (2006), para condições de trabalho severo em rocha explodida ou solo rochoso.

Sendo:

$$P = V \times d$$

onde: P é o peso do material

V é o volume do material

d é a massa unitária da brita (PULSELLI et al, 2007).

$$P = 145 \times 1.450 = 210.250\text{kg}$$

Teremos 210.250kg para cada hora de produção (massa unitária da brita - $1450\text{kg}/\text{m}^3$). Se emite 193,998kg de CO_2e por hora, tabela 3, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 193,998/210.250 = 0,00092\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,00092kg de CO₂e / kg

O caminhão transporta 6m³ por viagem ou 8.700kg. Valor obtido pela transformação:

$$P = V \times d$$

onde: P é o peso do material
V é o volume do material
d é a massa unitária da brita.

$$P = 6 \times 1.450 = 8.700\text{kg}$$

Se emite 21,700kg de CO₂e por hora, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 21,700/8.700 = 0,0025\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0025kg de CO₂e / kg

A Correia transporta 80.000kg por hora. Se emite 0,035kg de CO₂e por hora, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,035 / 80.000 = 0,0000004\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0000004kg de CO₂e / kg

Dessa forma, ter-se-á para o insumo a tabela 5 de emissão de CO₂e para 1kg de brita:

Tabela 5 – Emissão de CO₂e X Uso de equipamentos por 1kg de brita extraída

Equipamentos	Emissão de CO₂e (kg)
Escavadeira	0,000920
Caminhão	0,002500
Correia transportadora	0,0000004
Total (valor "D") *	0,003421

Obs: * Valor a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

Assim, pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões em quantidades diferenciadas de extração de brita:

Equação 6 -

$E_{\text{ext. br}} = Q_{\text{br}} \times D$ onde: $E_{\text{ext. br}}$ é o total da emissão no processo

Q_{br} é a quantidade de brita

D o valor encontrado na tabela 5

Embora encontrada naturalmente em jazida, a rocha precisa passar por processo de fragmentação para adequar seu tamanho ao uso.

Após a lavra, a rocha é transformada através da britagem, seguindo o seguinte processo:

- 1-Britador Primário
- 2-Grelha
- Tem-se a bica-corrida.
- 3-Britador Secundário
- 4-Britador Terciário
- 5-Peneiras de classificação
- 6-Estocagem

Tem-se para o insumo as seguintes emissões de CO₂e de acordo com os equipamentos envolvidos no processo:

O Britador de Mandíbulas produz 5.500kg por hora;

Se emite 0,017kg de CO₂e por hora, tabela 3, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,017 / 5.500 = 0,000003\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,000003kg de CO₂e / kg

Britador Secundário produz 110.000kg por hora, conforme Quadro 3. Se emite 0,523kg de CO₂e por hora, tabela 3, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,523 / 130 = 0,0040\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0040kg de CO₂e / kg

O Britador Terciário, esta etapa é uma nova passagem do material em um britador com as características do secundário, produz 110.000kg por hora. Se emite 0,523kg de CO₂e por hora (tabela 3), tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,523 / 130 = 0,0040\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0040kg de CO₂e / kg

A Peneira Vibratória produz 80.000kg por hora, conforme fabricante (Quadro 3). Se emite 0,174kg de CO₂e por hora, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,174 / 80.000 = 0,000002\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,000002kg de CO₂e / kg

O insumo terá o total de emissão no processo apresentado na tabela 6:

Tabela 6 – Emissão de CO₂e X Uso de equipamentos por 1kg de brita transformada

Equipamentos	Emissão de CO₂e (kg)
Britador de Mandíbulas	0,000003
Britador Secundário	0,004000
Britador Terciário	0,004000
Peneira Vibratória	0,000002
Total (valor "E") *	0,00800

Obs: * Valor a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

Pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões em quantidades diferenciadas de brita

Equação 07-

$$E_{\text{tf. br}} = Q_{\text{br}} \times E$$

onde: **E_{tf. br}** é o total da emissão no processo
Q_{br} é a quantidade de brita
E o valor encontrado na tabela 6

3.1.4 Emissão de carbono no ciclo de vida do cimento para concreto armado

A extração dos minérios que originam o cimento é feita a céu aberto, visto que a sua ocorrência é em grandes massas. A concentração e mistura se dá por uma passagem em britadeira para encaminhamento ao processo de transformação, fabricação.

Dessa forma, para estabelecer as emissões por kg de cimento deve-se analisar as capacidades de carga produtiva de cada equipamento envolvido no processo.

O britador primário produz 5.500kg por hora, logo produz 1kg em 0,00018 horas. Se emite 0,017kg de CO_{2e} por hora (tabela 3), tem-se para 1kg de cimento a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,017 / 5.500 = 0,000003\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,000003kg de CO_{2e} / kg

A escavadeira produz 145 m³ por hora, conforme apresentado por Mattos (2006), para condições de trabalho severo em rocha explodida ou solo rochoso.

$$\mathbf{P = V \times d}$$

onde: P é o peso do material

V é o volume do material

d é a massa unitária do cimento (PULSELLI et al, 2007).

$$P = 145 \times 1.400 = 203.000\text{kg}$$

Tem-se 203.000kg para cada hora de produção (massa unitária do cimento - 1400kg/m³). Se emite 193,998kg de CO_{2e} por hora (tabela 3), tem-se para 1kg de rocha calcária, cimento, a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 193,998/203.000 = 0,009560\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,00956kg de CO_{2e} / kg

O caminhão transporta 6m³ por viagem ou 8.400kg (valor multiplicado pela massa unitária do cimento - 1400kg/m³). Se emite 21,70kg de CO₂e (tabela 3) para transportar 8.400kg, tem-se para 1kg de rocha fragmentada a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 21,700/8.400 = 0,002583\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,002583kg de CO₂e / kg

A correia transporta 80.000kg por hora. Se emite 0,035kg de CO₂e por hora, tem-se para 1kg de rocha fragmentada a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,035 / 80.000 = 0,0000004\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0000004kg de CO₂e / kg

Dessa forma, tem-se para o insumo a seguinte tabela de emissão de CO₂e para 1kg de cimento:

Tabela 7 – Emissão de CO₂e X Uso de equipamentos para 1kg de cimento extraído

Equipamentos	Emissão de CO₂e (kg)
Britador de Mandíbulas	0,000003
Escavadeira	0,000956
Caminhão	0,002583
Correia transportadora	0,0000004
Total (valor "F") *	0,003543

Obs: * Valor a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

Dessa forma, pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões por quantidade de minério explorado na jazida:

Equação 08-

$$E_{ex.c} = Q_c \times F$$

onde: $E_{ex.c}$ é o total da emissão no processo
 Q_c é a quantidade de cimento
 F o valor encontrado na tabela 7

O cimento Portland, tipo comumente usado em obras civis que não exigem condições especiais, é produzido em instalações industriais de grande porte, localizadas próximas às jazidas. Segundo Pulselli et al (2007) corresponde a 73,3% de todo o cimento usado na Itália. Os materiais britados são conduzidos aos moinhos e silos, onde se reduzem a grãos de pequeno tamanho em mistura homogênea. Essa mistura é devidamente queimada no forno até a produção do clínker. O *clínker* sai do forno em elevada temperatura, sendo resfriado e, em seguida, encaminhado à moagem.

Após ser moído, o *clínker* é conduzido de forma pneumática aos separadores de ar, onde os grãos são separados para a estocagem do produto final. Segundo Cybis (2000) esta fabricação gera em média 500 kg de CO₂e por tonelada de cimento produzido.

Segundo Pade (2007), 50% do CO₂e produzido ocorre durante a fabricação do cimento, especificamente na queima da pedra de cal. Dessa forma, conclui-se que esta etapa do ciclo de vida do cimento é a maior contribuinte para emissão de CO₂e no ciclo final da produção de concreto.



Valores de emissões são fornecidos por Helene (2008) e Lima (2010) sendo respectivamente de 630kg e 659kg de CO₂e por tonelada de cimento produzido. Em Lima (2010b) encontra-se como média mundial 810kg de CO₂e por tonelada de cimento produzido

Observa-se dados diferenciados encontrados na literatura disponível. A Associação Brasileira de Cimento Portland apresenta como média nacional 621 kg para cada tonelada produzida na América Latina durante o ano de 2006 (SNIC, 2009).

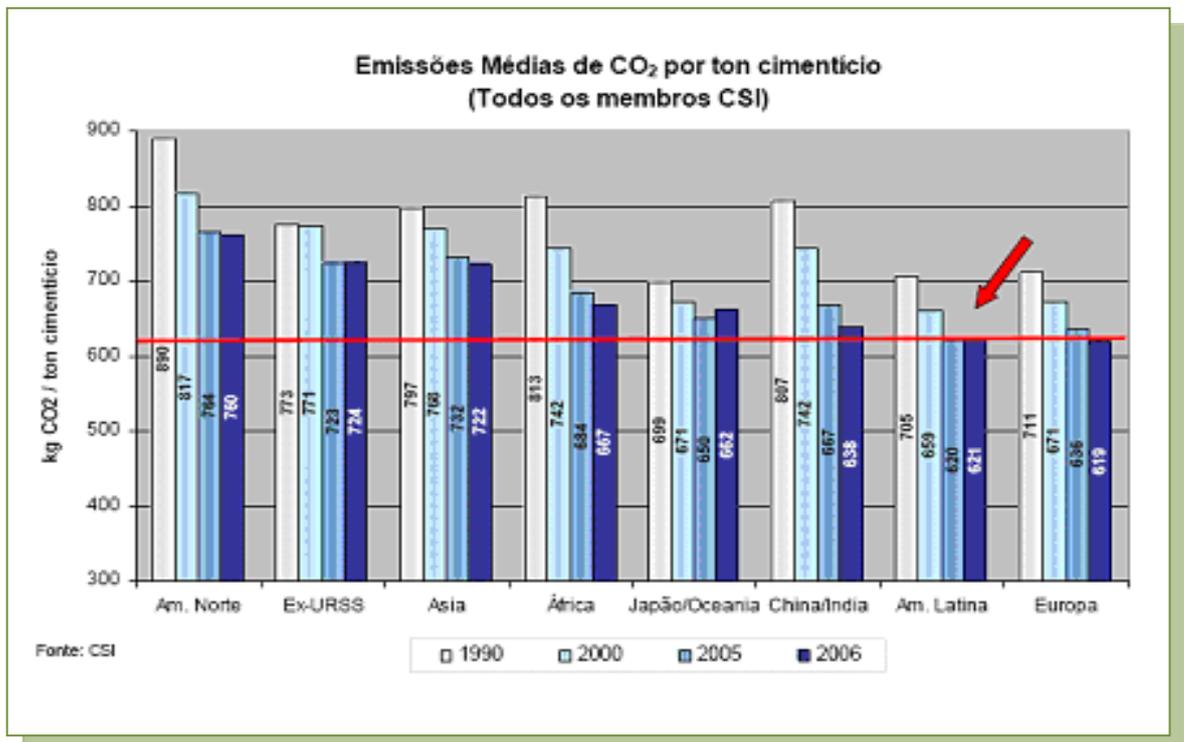


Figura 5 - Emissões médias de CO₂e por tonelada de cimento
Fonte: Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC, 2009.

Para Agopyan (2001), quando analisada em relação à emissão de CO₂e, podemos considerar a indústria do cimento como não sustentável, pois produz altas taxas de emissões totais.

Na figura 5, observa-se que os valores da indústria brasileira de cimento são menores que a média mundial, isto se deve ao uso de cimento com adições. As adições, permitidas pelas normas brasileiras, reduzem a quantidade de clínquer necessário para a produção do cimento, com o uso de proporções pré-estabelecidas de pozolanas, escória de alto-forno ou fíler calcário.

Sendo o processo de queima do clínquer o maior emissor de CO₂e, as adições, além de estabelecerem tipos diferenciados de cimento também reduzem a quantidade de emissões nesta etapa do ciclo de vida do cimento.

Se o processo de fabricação emite CO₂e por tonelada de cimento produzida, deve-se estabelecer o valor real de emissões considerando o tipo de cimento adotado e a quantidade de clínquer queimada.

Em Fairbairn et al (2010), tem-se o valor de emissão pela queima do clínquer:

0,827kg de CO₂e / kg clínker

A partir deste valor, deve-se estabelecer a emissão gerada, considerando o percentual de clínker queimado, em função do tipo de cimento a ser produzido. Devem ser consideradas outras adições básicas ao clínker, limitadas a 5%, como o gesso que participa do processo de queima para controle das reações de hidratação:

Equação 09-

$$E_c = \alpha \times E_{cl} + E_{ad}$$

onde: E_c é o total da emissão no processo
 α percentual de clínker em função do tipo de cimento
 E_{cl} a emissão na queima do clínker
 E_{ad} a emissão na queima das adições básicas ao clínker (gesso)

Estabelecida a emissão para 1kg de cimento, pode-se estabelecer uma equação para encontrar a emissão para outras quantidades de cimento produzido:

Equação 10-

$$E_{tf.c} = Q_c \times E_c$$

onde: $E_{tf.c}$ é o total da emissão no processo
 Q_c é a quantidade de cimento
 E_c o valor encontrado na equação 9*

* Valor chamado " E_c " a ser utilizado no "estudo de caso" (Capítulo 4).

Portanto, conforme o tipo de cimento utilizado na produção do concreto armado moldado in loco, o cálculo da emissão de CO₂e deve considerar o percentual de clínker e de adições. Neste estudo utiliza-se o cimento Portland CP II - E.

3.1.5 Emissão de carbono no ciclo de vida da água para concreto armado

Deve-se determinar a emissão de CO₂e durante o processo de mistura e amassamento do concreto através da combinação com água. A água utilizada nesta etapa pode ser proveniente de uma concessionária local, de rios ou de lençóis aquíferos subterrâneos. A origem deste insumo depende das condições disponíveis para o abastecimento do canteiro de obras.

Para este estudo, considera-se a prática adotada pelas construtoras da região, a água proveniente de poço artesiano, devendo ser computada a emissão de CO₂e durante o trabalho da bomba submersa ou de um compressor. Dessa forma, para determinar a emissão de CO₂e nesta etapa do ciclo, aplica-se a *Equação 02*- Para motores a energia elétrica.

3.1.6 Transporte dos insumos

O deslocamento de veículos, máquinas e equipamentos no transporte dos insumos das jazidas para a transformação e da transformação até a obra devem ser considerados levando em consideração as emissões geradas no retorno do veículo, após entrega do produto.

Para o aço deve se estabelecer dois momentos de análise: o transporte da jazida à fábrica, e após a fabricação, o transporte por veículos de carga desde a siderúrgica até os pontos de venda ou até obra. Considerando-se a capacidade de transporte de um caminhão classe Muncy como sendo de 15,46t (TCPO, 2008), têm-se os dados para determinar a quantidade de aço transportada para cada viagem (manual do veículo).

Dessa forma, se o caminhão transporta 6m³ por viagem, o equivalente a 47.100kg (obtido multiplicando 6m³ pela massa unitária do aço - 7.850kg/ m³).

Adota-se a capacidade máxima do veículo que é de 15.460kg (15,46t), segundo TCPO (2008).

Se emite 21,700kg de CO₂e por hora, tem-se para 1kg de aço a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 21,700/15.460 = 0,0014\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0014kg de CO₂e / kg*
--

Valor chamado "G" a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

De acordo com a distância a ser percorrida e o consumo de combustível, tem-se uma equação que apresenta a relação de emissão de CO₂e por tonelada aço transportada.

Equação 11 -

$$E_{\text{tran. aço}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_{\text{aço}} \times G$$

onde: $E_{\text{tran.aço}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

$Q_{\text{aço}}$ é a quantidade de aço

G valor encontrado para emissão por quilograma

No caso da areia e da brita, o transporte é feito diretamente da zona de extração para o comércio ou obra, de acordo com o volume de compra. Para esta etapa do ciclo, pode-se proceder da mesma forma estabelecida no transporte do aço com a determinação das distâncias percorridas pelo veículo e o consumo de combustível. A capacidade de carga de um caminhão nos fornece dados para determinar as quantidades reais transportadas em função da massa unitária do insumo. Para a areia, o caminhão transporta 6m³ por viagem (tabela 3), o equivalente a 9.000kg (obtido multiplicando 6m³ pela massa unitária da areia – 1.500kg/ m³).

$$P = V \times d$$

onde: P é o peso do material

V é o volume do material

d é a massa unitária da areia

$$P = 6 \times 1.500 = 9.000\text{kg}$$

Se emite 21,700kg de CO₂e para 9.000kg, tem-se para 1kg: **0,002411kg de CO₂e.**

0,0024kg de CO₂e / kg*
--

*Valor chamado "H" a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

Determinada a emissão do veículo, pode-se estabelecer uma equação para determinar emissão para outras quantidades de areia:

Equação 12 -

$$E_{\text{tran. areia}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_{\text{areia}} \times H$$

onde: $E_{\text{tran. areia}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

Q_{areia} é a quantidade de areia

H valor encontrado para emissão por quilograma

Para a brita, um caminhão transporta 6m³ por viagem ou 8.700kg, conforme transformação realizada no item 3.1.3 deste estudo. Se emite 21,700kg de CO₂e por hora, tabela 3, tem-se para 1kg de brita a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 21,700/8.700 = 0,0025\text{kg de CO}_2\text{e}$$

0,0025kg de CO₂e / kg*
--

Valor chamado "I" a ser utilizado no "estudo de caso" (capítulo 4).

Determinada a emissão do veículo, pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões de CO₂e para outras quantidades de brita:

Equação 13 -

$$E_{\text{tran. br}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_{\text{br}} \times I$$

onde: $E_{\text{tran. br}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

Q_{br} é a quantidade de brita

I o valor encontrado para emissão por quilograma

Para o cimento, este estudo considera a jazida situada nos arredores da fábrica. O caminhão carregado transporta 6m³ por viagem ou o equivalente em peso a 8.400kg (valor multiplicado pela massa unitária do cimento - 1400kg/m³). Se emite 21,700kg de CO₂e para transportar 8.400kg (tabela 3), tem-se para 1kg de cimento ensacado a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 21,700/8.400 = \mathbf{0,002583\text{kg de CO}_2\text{e}}$$

0,002583kg de CO₂e / kg*

* Valor chamado "J" a ser utilizado nas fórmulas do "estudo de caso" (capítulo 4).

Determinada a emissão do veículo, pode-se estabelecer uma equação para determinar as emissões de CO₂e para outras quantidades de cimento:

Equação 14 -

$$E_{\text{tran. c}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_c \times J$$

onde: $E_{\text{tran. c}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

Q_c é a quantidade de cimento

J o valor encontrado para emissão por quilograma

Para estabelecer as emissões de CO₂e para as distâncias percorridas sem carga, retorno dos veículos, determina-se as emissões totais nos percursos percorridos sem carga, dividindo-se as emissões geradas pelos veículos, E_1 , pelo volume total transportado:

Equação 15 -

$$E_{s/c} = E_1 / V_{\text{trans.}} \quad \text{onde: } E_{s/c} \text{ é o total da emissão sem carga}$$

E_1 total de CO₂e gerado pelo veículo (1)

V_{trans} é volume de insumos transportados

3.1.7 Produção e lançamento do concreto armado

Todos os processos descritos anteriormente, somados, servem para a produção final *in loco* do concreto armado. É importante caracterizar a emissão de CO₂e durante a fase de mistura e lançamento do concreto quando, segundo a TCPO (2008), são utilizados betoneiras, para mistura, e guindastes para lançamento. Para determinar a produção de CO₂e para cada 1m³ neste processo, deve-se verificar a

capacidade de produção de cada equipamento. A Betoneira, com capacidade para 400 litros, produz 1m³ em 0,3060 horas (TCPO, 2008), dessa forma:

Se emite 0,017kg de CO₂e em 1 hora (tabela 3), para 0,3060 horas chegou-se a 0,005kg de CO₂e.

0,005kg de CO₂e / kg

O Guindaste tem capacidade de carga de 30 toneladas (TCPO, 2008). Para este estudo, considerou-se que transporta 30t em uma hora de trabalho contínuo.

Transformando tonelada em kg e dividindo pela massa unitária do concreto (2.400kg/ m³):

$$V = P / d$$

onde: V é o volume do material

P é o peso do material

d é a massa unitária do concreto.

$$V = 30.000 / 2.400 = 12,50 \text{ m}^3$$

Tem-se o equivalente a 12,50 m³. Se emite 95,063kg de CO₂e para produzir 12,50m³ (tabela 3), para 1m³ de concreto a emissão será de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 95,063 / 12,50 = 7,605\text{kg de CO}_2\text{e}$$

7,605kg de CO₂e / kg

Dessa forma, tem-se para o processo de mistura e lançamento, a tabela 8 de emissão de CO₂e para 1m³ de concreto:

Tabela 8 – Emissão de CO₂e X Uso de equipamentos para 1m³ de concreto

Equipamentos	Emissão de CO₂e (kg)
Betoneira	0,005
Guindaste	7,605
Total (valor “K”) *	7,610

Obs: * Valor a ser utilizado no “estudo de caso” (capítulo 4).

Deve-se somar as produções de CO₂e encontradas nos insumos que compõem o concreto e a geração do gás durante a sua produção e lançamento. Para a totalização da quantidade de CO₂e por metro cúbico de concreto armado pronto é preciso conhecer quantas partes de cada insumo formarão a mistura que dará origem ao concreto, o traço em volume. O traço é fornecido pelo tecnologista para o dimensionamento das peças que irão compor a estrutura da edificação.

Uma vez estabelecida a quantidade de dióxido de carbono emitida, feito o inventário do ciclo de vida, é importante analisar os resultados encontrados para que se possa buscar soluções e propor alternativas na busca pela sustentabilidade de todo o processo produtivo.

São variadas as aplicações de dados obtidos pelo estudo do ciclo de vida do concreto. Pade et al (2007) apresentam estudo sobre a capacidade do concreto em sequestrar carbono, chegando a 50% em cem anos de vida útil, balanceando parte da emissão realizada durante o processo de fabricação de seus componentes.

Os valores para essa capacidade de absorção, carbonatação, devem ser considerados para uma avaliação do ciclo de vida do concreto armado que analise o tempo de uso da edificação, pois o processo se dá pelas reações exotérmicas que ocorrem ao longo do endurecimento da peça concretada. Este trabalho não analise o ciclo de vida após o lançamento do concreto.

Dessa forma, conhecidos os valores das emissões para a produção e lançamento do concreto, torna-se necessário conhecer as formas como instituições nacionais e internacionais vêm tratando o problema dos altos níveis de emissão de CO₂e na atmosfera, utilizando os chamados Mecanismos de Desenvolvimento Limpo.

3.2 Valores para compensação de emissões de CO₂e

Na definição do Inventário Nacional sobre Emissão de Gases do Efeito Estufa (IPCC, 2006), CO₂e, dióxido de carbono equivalente, é “concentração de dióxido de carbono que pode causar o mesmo grau de influência radioativa que uma mistura de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa”. O objeto dessa equivalência é permitir o uso de mecanismos que levem a redução nas emissões nocivas. Uma vez estabelecida a quantidade de dióxido de carbono emitida, pode-se determinar quanto custam as reduções de emissões ou quanto se pode reduzir em uma eventual alteração de um processo de produção.

O protocolo de Quioto estabelece os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, onde países em desenvolvimento, como o Brasil, podem emitir Certificados de Redução de Emissão de Carbono para serem negociados com países desenvolvidos. O preço por tonelada de carbono varia entre US\$ 10,00 e US\$ 100,00 (BRAGA et al, 2005).

Segundo Chen (2003), os valores pagos pelo mercado a créditos de carbono variam de acordo com a especificidade do projeto em função do mecanismo de redução proposto. Não existe um valor único a ser pago por tonelada de CO₂e reduzida, pois existem modelos de aferição de quantidades de emissão diferenciados, de acordo com a região do mundo. Os valores pagos estão em torno de US\$ 10/t.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi concebido como incentivo aos países industrializados para exportar a melhor tecnologia não poluente. Para ter direito ao crédito o país anfitrião deve certificar o projeto como contribuição para o desenvolvimento sustentável (SEIFFERT, 2007).

O mercado de compra e venda de créditos de carbono fica mais forte e competitivo na medida que aumentam as exigências dos governos de países que assumiram o compromisso de redução firmado na cidade de Quioto.

Quando se fala de ações para minimizar os impactos gerados pelo CO₂e representa-se toda a categoria de gases tidos como nocivos à camada de ozônio. O CO₂e é, por convenção, o representante equivalente dos demais gases sendo, por exemplo, equivalente a 21 vezes os valores gerados pela emissão do metano.

Assim, tem-se um único gás representando o peso das demais emissões consideradas (IPCC, 2006).

A União Européia estabeleceu valores máximos para emissão de CO₂e, aplicando multa de 100 euros por tonelada excedente. As empresas europeias passam a buscar com maior empenho as medidas que solucionem emissões acima do limite estabelecido (REBENNACK, 2009).

Para Gielen (2002), existem variadas opções para se implantar processos de redução na emissão de CO₂e, mas implicam em custos para a empresa e investimentos em novas tecnologias para a utilização de energia renovável.

Portanto, pode-se concluir que a regulamentação da compra de créditos de carbono corre o risco de se transformar na compra de uma permissão para emitir gases geradores do efeito estufa. O mercado de créditos de carbono atende mais a interesses econômicos que ao meio ambiente, porém, acaba se tornando uma opção para que se adquira tecnologia e recursos financeiros em países desenvolvidos. Neste estudo pode-se verificar, com clareza, o potencial de mercado disponível para a indústria da construção civil.

Assim, pode se estabelecer os valores para cada tonelada de dióxido de carbono emitida nos processos do ciclo de vida dos insumos. Podendo, em trabalho futuro, sugerir projetos que adotem Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no setor da indústria de construção, obtendo certificações sobre a redução de emissões de gases nos processos.

3.3 Considerações sobre o capítulo

A construção civil mundial é responsável por altos índices de interatividade com o meio ambiente. A indústria da construção é responsável pela extração de 30 a 40% dos recursos naturais, por alta emissão de CO₂e (5% do CO₂e do mundo vem só da indústria do cimento) e pelo descarte de até 50% dos resíduos urbanos gerados (PULSELLI et al, 2007).

Os recursos naturais estão ficando cada vez mais insuficientes para atender a demanda de construções e o crescimento do setor. Com isso, os índices de recursos desperdiçados também foram mensurados em valores acima das

estimativas. Portanto, existem boas expectativas para que seja reduzida pelo menos uma parcela destes resíduos através do gerenciamento já citado e de novos procedimentos de projetos.

Uma das maneiras que poderia ser utilizada para amenizar os grandes números dos índices de recursos desperdiçados é a reciclagem de resíduos de construção e demolição. Outra opção seria rever processos industriais, inicialmente adotados em tempos de falta de consciência ambiental.

A análise do ciclo de vida é uma das ferramentas utilizadas com destaque na prevenção da poluição. Assim, tem-se o desenvolvimento de soluções melhores para que o consumidor final possa aderir a providências com menor impacto ambiental através da compra, construção ou reforma. A apresentação do ciclo que compõe a produção do concreto armado em uma obra, a partir da emissão de CO_{2e}, não tem por objetivo discutir os números e cálculos efetuados, mas apresentar resíduos gerados que não são considerados nos custos da edificação, ficando a conta para gerações futuras.

Uma vez definida nossa janela de estudo no espaço e tempo da pesquisa, os valores apresentados servem como base para aplicação em outras situações, pois são obtidos com base na literatura científica existente.

As condições apresentadas no ciclo produtivo servem para apoiar as preocupações existentes com relação a aplicação de condições de sustentabilidade nos vários setores da indústria da construção civil.

A escolha do concreto, a partir da análise de um orçamento padrão, apenas comprova as afirmações do CIB (2002), que o elegem juntamente com o aço, os maiores responsáveis pelo efeito estufa dentre os materiais do setor construtivo.

Conclui-se que a fase do ciclo de maior impacto, gerador de CO_{2e}, é na transformação do aço, sendo seguida pela fabricação do cimento, para quando da análise do concreto armado. Assim, temos a etapa de fabricação como a maior poluidora do ciclo. Dessa forma fica evidente a importância da seleção de materiais visando o uso de matéria prima renovável, as reservas disponíveis e as possibilidades de reciclagem.

No Brasil, a geração do dióxido de carbono na construção civil é um bom parâmetro para definir critérios de sustentabilidade. O acúmulo de gases que originam o efeito estufa tem sido considerado uma das causas principais das

mudanças climáticas. Surgem as possibilidades de financiamentos internacionais através de créditos relativos à redução de elementos nocivos ao meio ambiente. Para atingir essa redução tem-se o uso de MDL, bem mais objetivo em seus interesses, pactuado no protocolo de Quioto. Portanto, para garantir o desenvolvimento sustentável é fundamental analisar o ciclo de vida de cada material utilizado na construção civil, na busca constante por insumos que garantam uma produção mais limpa.

Cabe aos projetistas, ainda na fase de planejamento, a responsabilidade de verificar e interpretar os resultados das avaliações de ciclo de vida para a adoção de melhores soluções na execução das obras. O projeto voltado para o ambiente inclui novas considerações no processo de desenvolvimento, sem alterar a sua estrutura. Deve buscar novos tipos de informações, como o impacto ambiental dos diferentes materiais, produtos e processos.

CAPÍTULO 4

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo descreve o estudo de caso adotado e apresenta os custos dos serviços na obra. Define o total de CO₂e liberado durante o ciclo de vida dos insumos estudados através da aplicação prática, buscando a validação dos modelos apresentados.

Estabeleceu-se o valor de CO₂e por quilograma de insumo para, a partir dos quantitativos orçados no estudo de caso, determinar a produção de quilogramas de CO₂e por metro cúbico de concreto armado da obra.

A opção pelo estudo voltado para a construção civil de imóveis residenciais se dá devido a ser o setor da construção civil que apresenta o maior consumo de energia e a mais elevada quantidade de emissão de CO₂e (TAVARES, 2009).

4.1 Definição do estudo de caso

Fundada pelos franceses oriundos do porto de Cancale, São Luís fez parte da tentativa de colonização para a implantação da França Equinocial. Passou à coroa em 1615 após a vitória portuguesa na batalha de Guaxenduba (Guia de Arquitetura e Paisagem, 2008).

Na São Luís contemporânea cresce o dinamismo e as potencialidades econômicas do território. A malha viária e o sistema de transportes sofrem o impacto do fluxo populacional causado pelas cidades satélites (Guia de Arquitetura e Paisagem, 2008).

Segundo a Revista do CONFEA (nº 20, 2004), a cidade vive um tempo de grande crescimento, com a implantação de novas indústrias e a valorização de sua situação geográfica para utilização de seu porto. Finalmente vê-se justificado o interesse francês no território.

São Luís vem recebendo grandes investimentos no setor imobiliário, que a transformam em uma cidade moderna. Entretanto, o Maranhão ainda registra um elevado déficit habitacional, que atinge principalmente famílias com até 5 salários mínimos. Para contornar essa realidade, o SINDUSCON-MA, em parceria com a Caixa Econômica Federal e a empresa Nossa Casa Empreendimentos Imobiliários lançaram, em agosto de 2005, um programa pioneiro que vem permitindo que milhares de famílias maranhenses tenham acesso à moradia.

O programa é financiado por recursos do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR). Entre 2005 e 2008, foram construídos e entregues, através do PAR, 7.247 imóveis, em condomínios fechados, dotados de toda a infraestrutura necessária. Esses empreendimentos são adquiridos por meio de sorteio e arrendados por um período de 15 anos.

Os novos empreendimentos industriais vindos para São Luís levaram o mercado imobiliário a uma crise por déficit de moradias, conforme relatório nº 12 (2009) do Sindicato das Indústrias de Construção do Maranhão. A reportagem “Surge uma nova cidade” ressalta o intenso desenvolvimento de São Luís, com o nascimento de novos bairros e condomínios (REVISTA SINDUSCON MARANHÃO, 2008),

Movido pela pressão deste crescimento, o SINDUSCON-MA passou a realizar pesquisa periódica, a partir do ano 2005, para fornecer dados aos seus associados, no intuito de direcionar as construtoras às condições da demanda do mercado. O Quadro 4 mostra o número de imóveis residenciais novos em oferta, mês a mês, na cidade.

Verifica-se no quadro 4 que o mês de maior oferta foi abril de 2009, em que 3.178 unidades residenciais estavam disponibilizadas para venda, gerando 3.791 empregos.

O relatório do SINDUSCON – MA, revela que o mês de abril de 2009 realizou a maior quantidade de lançamentos desde o início da pesquisa, totalizando 1.196 unidades (Tabela 9).

Quadro 4 – Ofertas Totais - Julho/05 a Maio/09 - Em unidades habitacionais

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2005	-	-	-	-	-	-	548	505	529	720	679	743
2006	589	594	573	491	650	625	583	552	498	501	432	400
2007	430	582		596	477	320		*	*	*	*	*
2008	*	*	618	*	*	*	277	1.794	1843	1780	1707	1236
2009	1196	1306	2543	3178	2374							

Fonte: SINDUSCON – MA, 2009

Obs: De agosto de 2007 à julho de 2008 não foi realizada a pesquisa.

Tabela 9 – Total de unidades residenciais lançadas

Mês	Março a Maio/09				
	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	-	26	35	-	176
Fevereiro	-	36	215	-	384
Março	-	40	90	-	328
Abril	-	0	68	-	1.196
Maio	-	128	0	-	361
Junho	-	30	0	-	
Julho	144	0	70	-	
Agosto	0	68	-	300	
Setembro	30	0	-	361	
Outubro	249	0	-	368	
Novembro	0	0	-	244	
Dezembro	125	48	-	-	
Total	548	376	478	1.273	2.445

Fonte: SINDUSCON – MA, 2009

Obs: “-“ não foi realizada a pesquisa.

Os dados do mês de abril mostram que a maior parte dos imóveis novos disponibilizados para venda são financiados pelo Sistema Financeiro de Habitação, sendo, em sua grande maioria, constituídos por apenas dois quartos (Tabela 10).

O mês de maior número de lançamentos, abril de 2009, tem como característica similar aos meses anteriores à oferta de imóveis residenciais ainda em planta. Sendo em abril na ordem de 2.668 do total de 3.178.

A Tabela 10 nos remete a edificações com térreo e até três pavimentos, para famílias de baixa renda, pois o código de obras do município não permite edificações superiores a três pavimentos sem uso de elevador (SEMTHURB).

Tabela 10 - Ofertas por nº de quartos X Quantidade de elevadores

Abril / 09 - Em unidades

Nº QUARTOS	0 elevador	1 elevador	2 elevadores	3 elevadores	4 ou + elevadores	Total
1	0	0	0	0	0	0
2	1606	0	274	301	0	2181
3	35	0	319	296	29	679
4 ou +	33	0	144	24	117	318
Total	1674	0	737	621	146	3178
%	52,7	0,0	23,2	19,5	4,6	100,0

Fonte: SINDUSCON – MA, 2009

Observa-se 52,70% de edificações sem elevador, o que caracteriza edificação com até 04 pavimentos para baixa renda. O padrão que prevalece na pesquisa do SINDUSCON-MA combina com a descrição do Prédio Popular – Projeto de Interesse Social, como apresentado na NBR 12721/06:

Hall de entrada, escada e quatro apartamentos por andar com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. Na área externa estão localizados o cômodo de lixo, guarita, central de gás, depósito com banheiro e 16 vagas descobertas.

Os bairros com maior número de lançamento de imóveis residenciais novos são Turu e Cohama, conforme Tabela 11:

Tabela 11 – Lançamentos totais por bairro
Em unidades – Abril/09

Bairro	1 quarto	2 quartos	3 quartos	4 quartos ou +	Total	
					Unids	%
Calhau	0	0	60	0	60	5,0
Cohama	0	240	0	0	240	20,1
Parque Atenas	0	176	0	0	176	14,7
Turu	0	720	0	0	720	60,2
Total	0	1136	60	0	1196	100,0
%	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	

Fonte: SINDUSCON – MA, 2009

O bairro do Turu, com 60,20% dos lançamentos fica inserido na ZR-06, zona residencial 06, tendo como gabarito máximo 12 andares e área mínima do lote de 450m². A área total para edificação fica em 210% da área do terreno (SEMTHURB). O bairro, próximo de praias e centro urbano, tem como limites o município de São José de Ribamar e o bairro da Cohama, segundo maior em número de lançamentos.

A figura 6 apresenta a demarcação dos limites do bairro do Turu, segundo dados fornecidos pelo zoneamento urbano da Prefeitura Municipal de São Luís.



Figura 6 – Bairro Turu

Fonte: Google Maps e Secretária Municipal de Terras e Urbanismo, 2010

A região compreende moradias para classes C e D, contando com grande área verde ainda disponível. Possui boa estrutura viária e de transportes urbanos.

A pesquisa realizada pelo SINDUSCON – MA (Relatório nº 12, 2009) nos revela que grande parte dos recursos advém do Sistema Financeiro de Habitação, tendo contribuído no mês de abril de 2009 para a oferta de aproximadamente 2.318 unidades. Estes fatores, aliados às facilidades propostas pelo Governo Federal para aquisição de imóveis por famílias de baixa renda levaram o bairro ao primeiro lugar em número de lançamentos.

Após identificar o mês de maior número de empreendimentos lançados e determinado o bairro de maior crescimento, foi feito levantamento de Anotações de Responsabilidade Técnica registradas junto ao Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA). A entidade forneceu relatório com todas as ART's do ano de 2009, permitindo conhecer o endereço e a descrição das obras residenciais do bairro escolhido (Anexo 2).

O Quadro 5 é o resumo do levantamento junto ao CREA, e demonstra o número total de condomínios residenciais em construção no bairro do Turu durante o ano de 2009.

Quadro 5 – Condomínios residenciais registrados no CREA no ano de 2009 - Bairro Turu

ART	CONSTRUTORA	MÊS	EMPREENHIMENTO	UNIDADES
408316	CANOPUS CONSTRUÇÕES LTDA	MARÇO	RESIDENCIAL VILLAGE DAS PALMEIRAS	240
422327	CANOPUS CONSTRUÇÕES LTDA	MARÇO	RESIDENCIAL VILLAGE BOA ESPERANÇA	240
425494	CANOPUS CONSTRUÇÕES LTDA	MARÇO	GRAN VILLAGE TURU V	304
425493	CANOPUS CONSTRUÇÕES LTDA	MARÇO	RESIDENCIAL RAPOSA	192
425490	CANOPUS CONSTRUÇÕES LTDA	MARÇO	RESIDENCIAL SÃO LUIS	224
386347	AMORIM COUTINHO ENG. CONST.	ABRIL	A DEFINIR	128
445045	NEFAL EMPREENDIMENTOS LTDA	MAIO	NEFAL	13
			TOTAL	1341

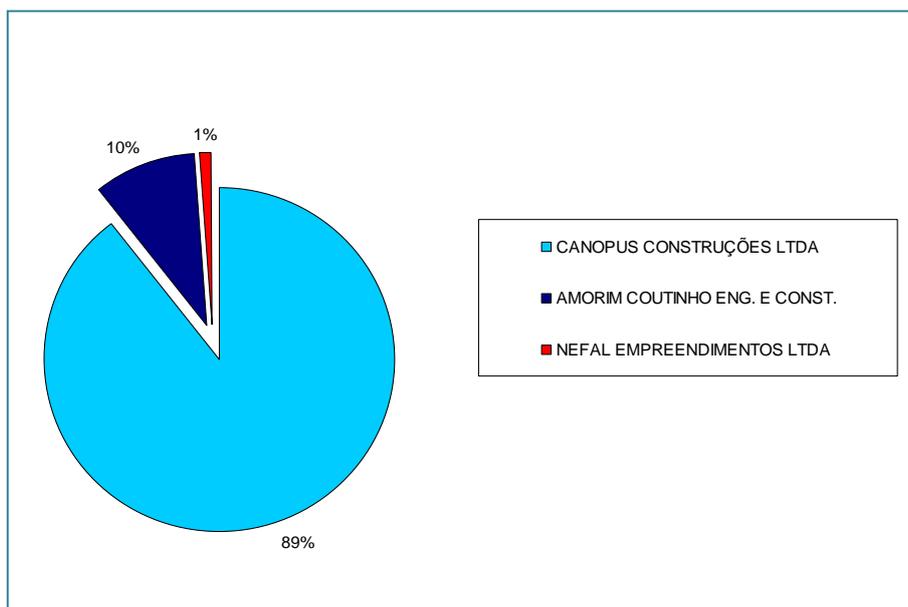
Fonte: Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA/MA, 2010

Da descrição apresentada em cada Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) registrada no ano de 2009, oriundas de levantamento junto ao CREA

(Anexo 2), apenas a construtora NEFAL Empreendimentos LTDA está produzindo condomínios horizontais. Todas as demais construtoras estão construindo “blocos de edifícios com até quatro pavimentos, sendo dezesseis unidades por bloco” (Figura 9) conforme extrato de ART’s em anexo.

Visitadas as obras indicadas nas ART’s fornecidas pelo CREA-MA, constatamos que o método construtivo adotado se constitui no uso de estruturas em concreto armado. As obras residenciais registradas neste ano são em sua grande maioria Projetos de Interesse Social, edificações verticais. Apenas a construtora NEFAL Empreendimentos LTDA com 13 unidades (1% do mercado da região) está construindo condomínio horizontal (CREA, 2009). O Gráfico 3, a seguir demonstra a distribuição por padrão construtivo.

Gráfico 3 – Unidades por construtora



Fonte: O autor, 2010.

A cidade segue a tendência de crescimento habitacional do país, aproveitando, sobretudo, o seu momento de industrialização, sendo o período ideal para as empresas de construção civil, voltadas ao ramo de edificações.

Definidos os padrões mais utilizados no ponto de maior expansão, bairro do Turu, resta saber quais tipos de materiais e insumos estão sendo adotados nesse período construtivo. A partir de uma edificação nos mesmos padrões das construídas no bairro, encontrada na norma NBR 12721/06, analisa-se o orçamento

proposto para definir os materiais de maior importância, conforme metodologia a ser apresentada.

Será apresentada uma análise feita a partir do orçamento de uma obra do bairro, como estudo de caso, de onde serão identificados os materiais e insumos de maior uso para a comparação com os dados encontrados a partir do modelo padronizado pela NBR 12721/06.

A construção civil em São Luís caracteriza-se por uso de padrão construtivo através de concreto armado. Dessa forma, dando continuidade à proposta desta dissertação de mestrado, que discute o impacto ambiental gerado pela emissão de CO₂ e no uso do concreto armado, serão apresentados os ciclos de vida dos principais insumos.

Ao identificar a maior ocorrência do número de unidades lançadas, em construção, torna-se importante relacionar o tratamento dado a essas unidades em construção.

Verificou-se pelo extrato de ART's fornecido pelo CREA que a Construtora Canopus Ltda foi a que mais contribuiu com a construção de unidades residenciais no bairro do Turu durante o ano de 2009 (Quadro 6).

Quadro 6 – Unidades por construtora / Abril – 2009

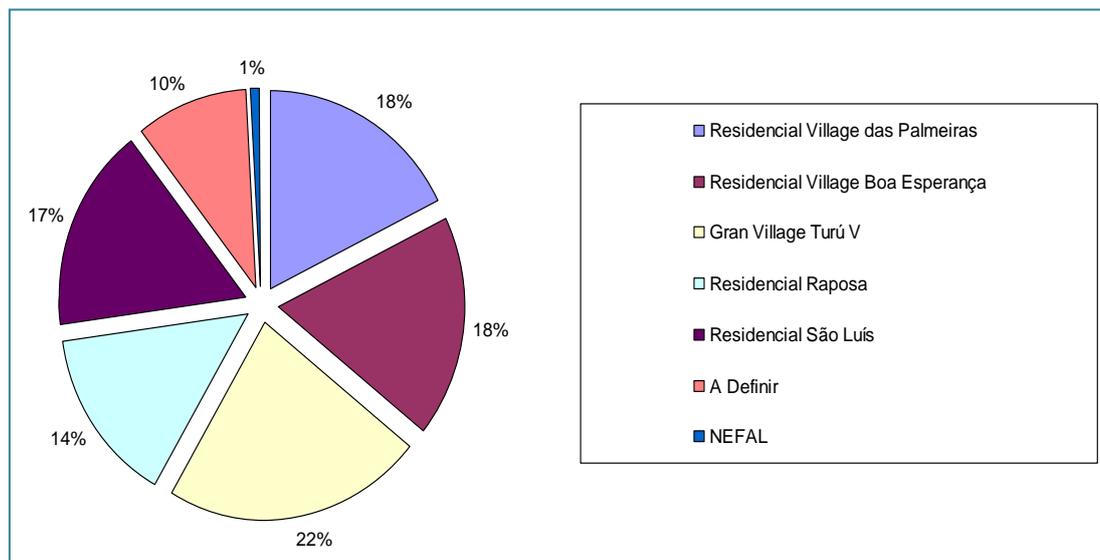
CONSTRUTORA	UNIDADES
Canopus Construções Ltda	1200
Amorim Coutinho Eng. e Construções Ltda	128
Nefal Empreendimentos Ltda	13

Fonte: O autor, 2010

As descrições encontradas, após visitadas as obras, confirmam as informações do SINDUSCON-MA sobre o padrão construtivo adotado pelas construtoras, bem como o tipo de edificação lançada.

Na escolha do estudo de caso foi feita a análise dos empreendimentos, buscando a padronização de uma unidade para o estudo, conforme Gráfico 4.

Gráfico 4 – Empreendimentos por Unidade



Fonte: O autor, 2010.

A análise do memorial descritivo demonstra o tipo de material utilizado. Observa-se que o memorial não trata, em momento algum, da relação dos materiais adotada no empreendimento e a sustentabilidade deles.

Após a licença prévia, fornecida pela Secretaria de Meio Ambiente, não houve quaisquer outras preocupações ambientais com o empreendimento.

Não foram verificadas quaisquer alternativas para minimizar os danos ambientais causados pelos materiais adotados, não houve checagem de ciclo de vida dos materiais indicados no memorial ou nas licenças de obra.

Em visita ao local da obra e contato com o responsável técnico pela obra, verificou-se que a construtora Canopus trabalhou de forma tradicional, comprando o material da obra no mercado local, sem preocupação com a procedência ou sustentabilidade dos mesmos.

Os principais critérios na escolha do material da obra foram o custo e o prazo. Não existe na construtora preocupação com certificação ambiental, existe necessidade e vontade de certificação para qualidade, no intuito de reduzir custos e melhorar o produto final.

Observa-se que o modelo construtivo utilizado pela Construtora Canopus Ltda é adotado por outras construtoras. Podendo levar à conclusão de que quando se trata de obras onde se exige a racionalização dos custos e com grande número

A estrutura do prédio é em concreto armado, conforme indicação do projeto estrutural, com lajes maciças em concreto convencional, escada tipo pré-moldada (Figuras 8, 9 e 10). Todo o concreto utilizado na estrutura foi misturado mecanicamente em betoneiras instaladas na obra.



Figura 8 - Prédio Projeto de Interesse Social, Armação da segunda laje.
Fonte: O autor, 2010, *in loco*.



Figura 9 – Obra concluída
Fonte: O autor, 2010, *in loco*.



Figura 10 - Bloco concluído

Fonte: o autor, 2010, *in loco*.

De acordo com o memorial descritivo, a unidade residencial tipo é composta por apartamento com sala, dois quartos, banheiro e cozinha. O padrão de acabamento pode ser considerado baixo (Projeto de Interesse Social - PIS).

O orçamento elaborado para a unidade tipo não considera valores ambientais na produção dos insumos. Como observa Odum (1996), apenas a partir da intervenção humana os custos são computados, desprezando o trabalho da natureza na produção do insumo.

O Anexo 3 relaciona os serviços orçados para a construção de um bloco contendo 16 apartamentos. O serviço de maior relevância é a estrutura, com o lançamento de concreto tendo o maior valor orçado.

O orçamento da obra (Anexo 3) informa que foram usados 110m³ de concreto. Segundo a construtora, o orçamento já prevê eventuais perdas e desperdícios durante a produção e lançamento do concreto na obra.

A seguir, serão estabelecidos os quantitativos de insumos que originam 1m³ de concreto, de acordo com as especificações fornecidas pelo construtor.

4.3 Dimensionamento da quantidade de insumos que compõem o concreto

Como descrito no orçamento fornecido pela Construtora Canopus Ltda, o concreto usado na obra tem f_{ck} igual a 25Mpa. Sendo o f_{ck} a resistência ao esforço de compressão estabelecido pelo calculista quando do dimensionamento da estrutura. O cimento utilizado na obra é o cimento Portland CP II-E.

As informações nos permitem estabelecer o consumo de cada insumo para que se obtenha 1m³ de concreto pronto. O procedimento adotado é o método racional fornecido pelo Instituto Politécnico de Tecnologia, IPT/EPUSP, baseado nos estudos de Abrams sobre concreto (TIECHER; PANDOLFO, 2003).

Este método foi desenvolvido para o proporcionamento de concretos convencionais, partindo dos materiais usados como agregados. Após sua realização permite a confecção de concretos desde que compreendidos na faixa estudada e com os mesmos materiais que serão utilizados (TUTIKIAN, 2004).

Para fins de dimensionamento será adotada a sequência de cálculo e fórmulas fornecidos por Neves *et al* (1999) e Rodrigues (2003), anexo 4. Sendo um estudo de caso, o modelo de cálculo adotado segue a forma utilizada e recomendada pelo calculista da Construtora Canopus Ltda para a determinação das quantidades no traço.

Dessa forma, a partir do Anexo 4, tem-se que 01 saco de cimento de 50kg equivale a:

103,44 kg de areia -----107,67kg de brita, ou
1kg de cimento ----- 2,06kg de areia ----- 2,15kg de brita.

- O consumo de cimento para 1 m³ de concreto:
C = 421,94kg/m³ de cimento (anexo 4).
- Consumo de areia para 1m³ de concreto
 Se para 1kg de cimento temos 2,06kg de areia, então para 421,94kg de cimento tem-se: **872,91kg de areia.**

- Consumo de brita para 1m³ de concreto
Se para 1kg de cimento temos 2,15kg de brita, então para 421,94kg de cimento tem-se: **908,60kg de brita.**

4.4 Cálculo da emissão de carbono por m³ concreto armado

Estabelecido o traço, têm-se os quantitativos de insumos necessários para a produção do metro cúbico de concreto, devendo ser feita análise de emissão gerada por cada insumo em separado.

4.4.1 Emissão de CO₂e referente ao aço para o concreto armado

Durante o processo de extração, encontrou-se a emissão de 0,0016kg de CO₂e para cada 1kg de ferro retirado da jazida. Este valor pode ser considerado fixo para condições similares às descritas no capítulo anterior.

A partir do orçamento da obra em estudo (anexo 3), tem-se que para a etapa de construção da supraestrutura e da infraestrutura foram consumidos 110m³ de concreto e 7.810kg de aço.

Dessa forma, tem-se que para 110m³ de concreto houve um consumo máximo de 7.810kg de aço, com uma média de 71 kg/m³.

Como a cada 1kg de ferro retirado da jazida corresponde a emissão de 0,0016kg de CO₂e, concluí-se que para 1m³:

Equação 03 -

$$E_{\text{ex. aço}} = Q_{\text{aço}} \times A \quad \text{onde: } A \text{ é o valor encontrado na tabela 4}$$

$$71 \times 0,0016 = 0,11\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Têm-se **0,11kg de CO₂e** emitidos para extrair o ferro que originou o aço da obra que compõe 1m³ de concreto armado.

Para a transformação considera-se o uso de 71kg de aço para cada metro cúbico de concreto lançado na obra. Durante o processo temos forte emissão de

CO₂e, sendo da ordem de 1.460 kg para cada tonelada de aço produzido em alto-forno (CETESB, 2007).

A obra apresenta o consumo de 71kg de aço para cada metro cúbico de concreto, logo:

Equação 04-

$$E_{\text{ff. aço}} = Q_{\text{aço}} \times B \quad \text{onde: } B \text{ é o valor encontrado no item 3.1.1}$$

$$71 \times 1,460 = 103,66\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo de transformação emitiu **103,66kg de CO₂e**, para cada m³ de concreto.

Após a fabricação, o aço, de acordo com a bitola a ser adquirida, é levado por veículos de carga desde a siderúrgica até os pontos de venda ou a obra. Dessa forma, de acordo com a distância a ser percorrida e o consumo de combustível, tem-se um modelo matemático que apresenta a relação de emissão de CO₂e por tonelada aço transportada.

No capítulo 3 foram apresentadas equações que definem as quantidades de CO₂e emitidos para um caminhão carregado que percorre 25 quilômetros em uma hora.

Considerado o fato de não haver siderúrgica no Estado do Maranhão, passou-se a medir o percurso de um caminhão partindo da jazida. Neste caso situada no Quadrilátero Ferrífero, conforme indicações da Siderúrgica Gerdau, situada na Cidade de Recife. Em seguida, da cidade de Recife até a obra. O total de emissão é considerado para a distância do veículo com carga.

Para determinar a emissão a partir da jazida:

Equação 11 -

$$E_{\text{tran. aço}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_{\text{aço}} \times G$$

onde: **G** valor encontrado no item 3.1.6

A partir de mapas de percurso rodoviário, chega-se a 1.910km para a distância entre a jazida e a siderúrgica na cidade de Recife.

Se a cada 25km percorridos com carga tem-se a emissão de 0,0014kg de CO₂e:

$$1.910/25 = 76,40$$

$$76,40 \times 0,0014 = 0,107\text{kg CO}_2\text{e}$$

Para 71kg de aço por m³ de concreto;

$$0,107 \times 71 = 7,59\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo emitiu **7,59kg de CO₂e**.

Para determinar a emissão no trecho Recife / São Luís:

Equação 11 -

$$E_{\text{tran. aço}} = dt_{\text{tot}}/dh \times Q_{\text{aço}} \times G$$

onde: **G** valor encontrado no item 3.1.6

A partir de mapas de percurso rodoviário, chega-se a 1.546km para a distância entre as cidades.

Se a cada 25km percorridos com carga tem-se a emissão de 0,0014kg de CO₂e:

$$1.546/25 = 61,84$$

$$61,84 \times 0,0014 = 0,0866\text{kg CO}_2\text{e}$$

Para 71kg de aço por m³ de concreto;

$$0,0866 \times 71 = 6,15\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo emitiu **6,15kg de CO₂e**.

Dessa forma, a emissão total referente ao transporte do aço é **13,74kg de CO₂e**.

4.4.2 Emissão de CO₂e referente a areia para o concreto armado

Tem-se a geração de 0,0023kg de CO₂e durante o trabalho produtivo da draga, conforme valores apresentados no item 3.1.2, para 1kg de areia extraída.

Equação 5 -

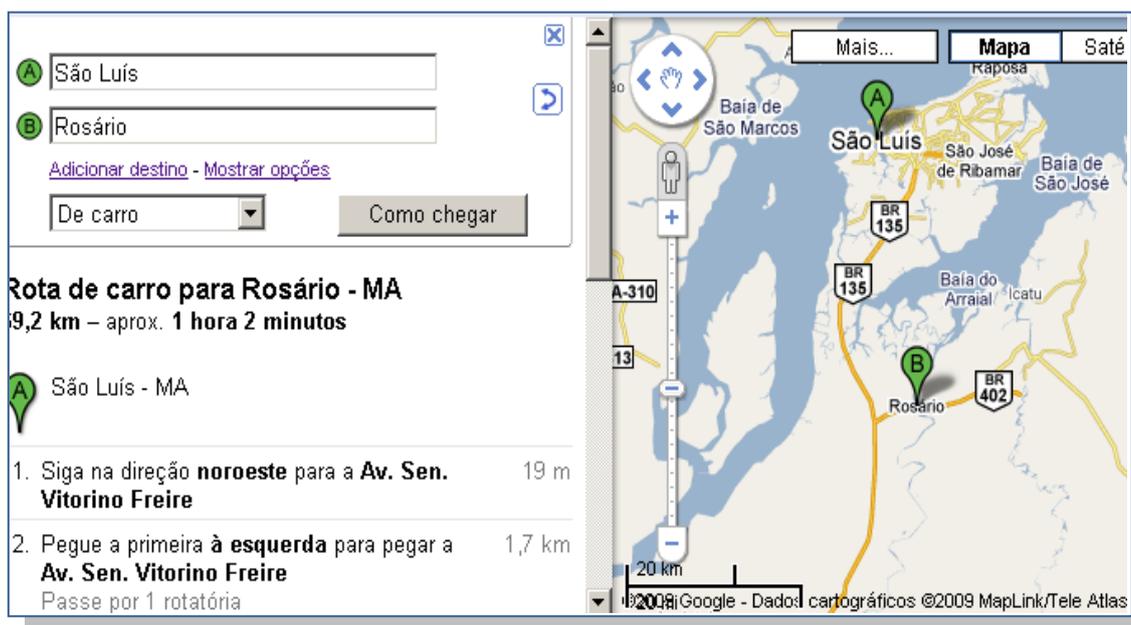
$$E_{\text{ext. areia}} = Q_{\text{ar}} \times C$$

onde: **C** valor encontrado no item 3.1.2

Para 872,91kg (a cada m³ de concreto) a emissão é de **2,01kg de CO₂e**

Não necessita de transformação. Eventualmente é feita a classificação granulométrica por peneiramento no canteiro de obras (AZEREDO, 1997).

No caso da cidade de São Luís, a areia que chega à capital é proveniente de jazidas do Rio Una ou Itapecuru, localizadas na cidade de Rosário e adjacências (Mapa 1). Assim, tem-se como distância percorrida para transporte de areia em média 69,20 km.



MAPA 1 – Distância em estrada entre os municípios de São Luís e Rosário

Fonte: www.google.com

A capacidade de transporte de um caminhão nos fornece dados para determinar a quantidade de areia transportada (manual do veículo).

A partir de mapas de percurso rodoviário chega-se a 69,20km para a distância entre as cidades. O total de emissão é considerado para a distância do veículo com carga.

Para determinar a emissão aplica-se:

Equação 12 -

$$E_{\text{tran. areia}} = dt_{\text{tot}}/dh \times Q_{\text{areia}} \times H$$

Onde: **H** o valor encontrado no item 3.1.6

Se a cada 25km percorridos tem-se a emissão de 0,002411kg de CO₂e para cada 1kg de areia, então:

$$69,20/25 = 2,77$$

$$2,77 \times 0,002411 = 0,0067\text{kg CO}_2\text{e}$$

Para 872,91kg de areia por m³ de concreto;

$$0,0067 \times 872,91 = 5,83\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo emitiu **5,83kg de CO₂e** por m³ de concreto.

4.4.3 Emissão de CO₂e referente a brita para o concreto armado

Tem-se a geração de 0,003421kg de CO₂e durante o processo de extração, conforme valores apresentados no item 3.1.3, para 1kg de brita extraída.

Equação 6 -

$$E_{\text{ext. br}} = Q_b \times D \quad \text{onde: } D \text{ o valor encontrado na tabela 5}$$

Para 908,60kg (a cada m³ de concreto) a emissão é de **3,11kg de CO₂e**

Durante o processo de transformação, encontrou-se a emissão de 0,0085kg de CO₂e para cada 1kg de brita fragmentada. Este valor pode ser considerado fixo para condições similares as descritas no capítulo anterior.

A obra apresenta o consumo de 908,60kg de brita para cada metro cúbico de concreto, logo:

Equação 07-

$$E_{\text{tf. br}} = Q_{\text{br}} \times E \quad \text{onde: } E \text{ o valor encontrado na tabela 6}$$

$$908,60 \times 0,0080 = 7,27\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo de transformação emitiu **7,27kg de CO₂e**, para cada m³ de concreto.

Extraída na cidade em pedreiras próximas, tem-se como percurso utilizado para atender a obra à distância de 30km da obra, conforme informações da construtora.

Para determinar a emissão, pode-se aplicar o seguinte modelo matemático:

Equação 13 -

$$E_{\text{tran. br}} = \frac{d_{\text{tot}}}{d_h} \times Q_{\text{br}} \times I$$

onde: **I** o valor encontrado no item 3.1.6

Se a cada 25km percorridos tem-se a emissão de 0,0025kg de CO₂e para cada 1kg de brita, então:

$$30/25 = 1,20$$

$$1,20 \times 0,0025 = 0,003\text{kg CO}_2\text{e}$$

Para 908,60kg de brita por m³ de concreto;

$$0,003 \times 908,60 = 2,72\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo emitiu **2,72kg de CO₂e** por m³ de concreto.

4.4.4 Emissão de CO₂e referente ao cimento para o concreto armado

Tem-se a geração de 0,003543kg de CO₂e durante o processo de extração, conforme valores apresentados na tabela 7, para 1kg de rocha extraída.

Equação 08-

$$E_{\text{ex. c}} = Q_c \times F \quad \text{onde: } E_{\text{ex.c}} \text{ é o total da emissão no processo}$$

Q_c é a quantidade de cimento

F o valor encontrado na tabela 7

Para 421,94kg (a cada m³ de concreto) a emissão é de **1,49kg de CO₂e**

Durante o processo de transformação encontramos a emissão de 0,827kg de CO₂e para cada 1kg de clínker produzido. Este valor pode ser considerado fixo para condições similares as descritas no capítulo anterior.

Segundo informações fornecidas pela construtora, o tipo de cimento usado na obra é o Cimento Portland Composto CP II-E. Dessa forma, a obra apresenta o consumo de 421,94kg de cimento CP II-E para cada metro cúbico de concreto. Para determinar a emissão relativa ao cimento no processo de transformação deve-se estabelecer o percentual de clínker queimado para o cimento utilizado na obra:

Equação 09-

$$E_c = \alpha \times E_{\text{cl}} + E_{\text{ad}}$$

onde: E_c é o total da emissão no processo

α percentual de clínker em função do tipo de cimento

A partir do quadro 3, estabelece-se como 80% o percentual de clínker queimado para o cimento CP II-E. O valor das adições ao clínker anteriores a queima serão considerados zero. Dessa forma:

$$E_c = 0,80 \times 0,827 + 0$$

$$E_c = 0,662 \text{ kg de CO}_2\text{e}$$

Equação 10-

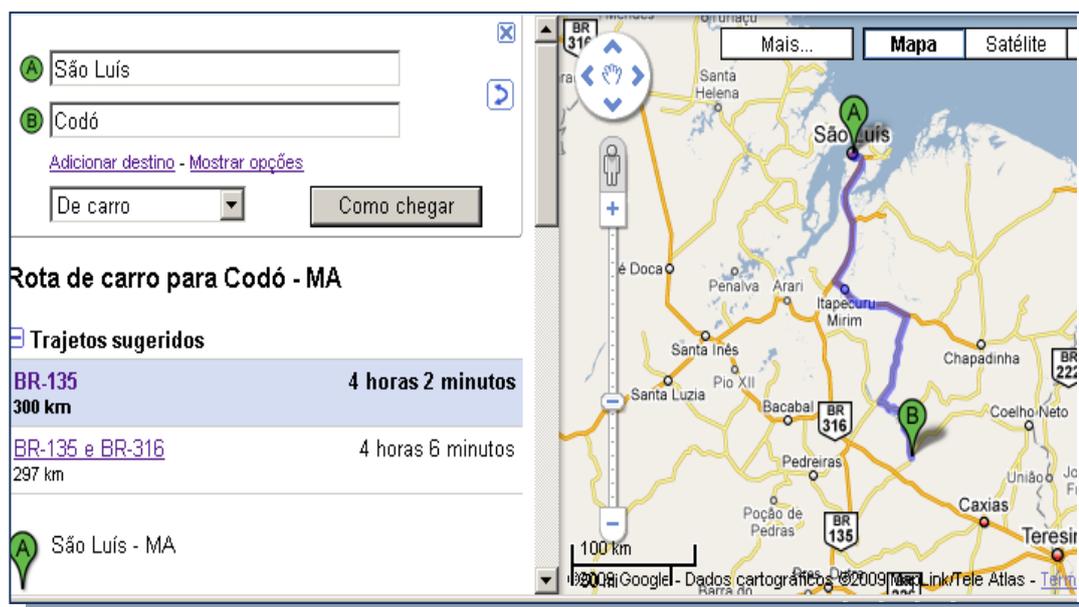
$$E_{\text{ff. c}} = Q_c \times E_c \quad \text{onde: } E_{\text{ff. c}} \text{ é o total da emissão no processo}$$

$$E_c \text{ o valor encontrado na equação 9}$$

$$421,94 \times 0,662 = 279,15 \text{ kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo de transformação emitiu **279,15kg de CO₂e**, para cada m³ de concreto.

No caso do cimento, a cidade de São Luís é abastecida, principalmente, pela fábrica de cimento Nassau que fica localizada na cidade de Codó. Assim, tem-se como distância percorrida para transporte de cimento à obra 300 quilômetros (Mapa 2).



MAPA 2 – Distância em estrada entre os municípios de São Luís e Codó

Fonte: <www.google.com>

A partir do mapa 2 chega-se a 300km para a distância entre as cidades. Para determinar a emissão utiliza-se:

Equação 14 -

$$E_{\text{tran.c}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_c \times J$$

onde: **J** o valor encontrado para emissão por quilograma.

Se a cada 25km percorridos com carga tem-se a emissão de 0,002585kg de CO₂e para cada 1kg de cimento, então:

$$300/25 = 12$$

$$12 \times 0,002585 = 0,031\text{kg CO}_2\text{e}$$

Para 421,94kg de cimento por m³ de concreto;

$$0,031 \times 421,94 = 13,09\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo emitiu **13,09kg de CO₂e** por m³ de concreto.

4.4.5 O Ciclo de Vida da Água

A água da obra é proveniente de poço artesiano, devendo ser computada a emissão de CO₂e durante o trabalho da bomba submersa.

Na obra em estudo, o conjunto moto-bomba com 10kWh produz 10m³ por hora, assim produz 10kg (considerando a densidade da água 1kg/m³);

Aplicando-se a **Equação 2** - Para motores a energia elétrica, tem-se:

Conjunto motor-bomba da obra apresenta consumo de 10 kWh, logo, tem-se a emissão de **0,01163kg de CO₂e** por hora.

Se emite 0,1163kg de CO₂e para 10kg de água;

Para 23,50kg de água necessária para produzir 1m³ de concreto (anexo 4), tem-se a emissão de:

$$\text{Kg CO}_2\text{e} = 0,1163 \times 23,50 / 10 = 0,27\text{kg de CO}_2\text{e}$$

Durante o processo emitiu **0,27kg de CO₂e** por m³ de concreto.

4.4.6 A Emissão no Transporte sem Carga

Deve-se ao cálculo da emissão de gases durante o retorno das viagens na fase de transporte. Para tanto, aplica-se novamente a *equação 1* (emissão em motores a diesel) considerando a média de 40km percorridos a cada hora:

Teremos o total de quilômetros percorridos para retorno nas fases de transporte dos insumos, “d”:

$$d = d_{\text{tot aço}} + d_{\text{tot areia}} + d_{\text{tot brita}} + d_{\text{tot cim}}$$

$d = 3.456 + 69,20 + 30 + 300$, considerando as etapas de retorno para o aço como o somatório das distância São Luís a Recife, e Recife à jazida.

$$d = 3.855,20\text{km}$$

Onde “d” é distância total de transporte sem carga para o retorno dos veículos que transportaram os insumos.

Considerando o consumo de 1 litro de diesel a cada 3km (CENTROCLIMA, 2008), tem-se:

$$d / 3\text{km} = 1.285,10 \text{ litros.}$$

Aplicando a *Equação 01*- Para motores a diesel, tem-se:

$$E_1 = 2,604 \times 1.285,10$$

$$E_1 = 3.346,31\text{kg de CO}_2\text{e}$$

O valor 3.346,31kg de CO₂e é fornecido para o veículo a diesel com capacidade de carga 15,46 toneladas e caçamba de 6 metros cúbicos. Tem-se que estabelecer o quinhão de CO₂e emitido para compor 1m³ de concreto;

Somam-se os valores, em quilograma, dos insumos transportados para compor o necessário à 1m³ concreto;

71kg de aço + 872,91kg de areia + 908,60kg de brita + 421,94kg de cimento

têm-se: 2.274,45kg transportados,

Determina-se quanto do consumo de CO₂e foi devido ao de 1m³ concreto:

Equação 15 -

$$E_{s/c} = E_1 / V_{\text{trans.}}$$

$$E_{s/c} = 3.346,31\text{kg de CO}_2\text{e} / 2.274,45\text{kg}$$

$$E_{s/c} = 1,47\text{kg de CO}_2\text{e para 1m}^3\text{ de concreto.}$$

4.4.7 A emissão no ciclo de vida do concreto armado

De forma prática, para determinar a emissão de CO₂e, a partir dos insumos que compõem o concreto armado, pode-se aplicar a sequência de equações a seguir:

Equação 01-

$$E_1 = E_m \times I$$

onde: **E₁** total de CO₂e gerado pelo veículo

E_m Emissão em kg (2,604 para diesel)

I litros consumidos

Equação 02 -

$$E_2 = E_e \times kW$$

onde: **E₂** total de CO₂e gerado pelo equipamento

E_e Emissão em kg para energia elétrica

kW – kiloWatts consumidos.

Equação 03-

$$E_{\text{ex. aço}} = Q_{\text{aço}} \times A$$

onde: **E_{ex. aço}** é o total da emissão no processo

Q_{aço} é a quantidade de aço

A o valor encontrado na tabela 5

Equação 04-

$$E_{\text{tf aço}} = Q_{\text{aço}} \times B$$

onde: **E_{tf aço}** é o total da emissão no processo

Q_{aço} é a quantidade de aço

B o valor de kg de CO₂e / kg de aço transformado

Equação 5 -

$$E_{\text{ext. areia}} = Q_{\text{ar}} \times C$$

onde: **E_{ext. areia}** é o total da emissão no processo

Q_{ar} é a quantidade de areia

C valor encontrado para emissão de CO₂e / kg de areia extraída

Equação 6 -

$$E_{\text{ext. br}} = Q_{\text{br}} \times D$$

onde: **E_{ext. br}** é o total da emissão no processo

Q_{br} é a quantidade de brita

D o valor encontrado na tabela 6

Equação 07-

$E_{\text{ff. br}} = Q_{\text{br}} \times E$ onde: $E_{\text{ff. br}}$ é o total da emissão no processo
 Q_{br} é a quantidade de brita
 E o valor encontrado na tabela 7

Equação 08-

$E_{\text{ex. c}} = Q_{\text{c}} \times F$ onde: $E_{\text{ex.c}}$ é o total da emissão no processo
 Q_{c} é a quantidade de cimento
 F o valor encontrado na tabela 8

Equação 09-

$E_{\text{c}} = \alpha \times E_{\text{cl}} + E_{\text{ad}}$ onde: E_{c} é o total da emissão no processo
 α percentual de clínker em função do tipo de cimento
 E_{cl} a emissão na queima do clínker
 E_{ad} a emissão na queima das adições ao clínker (gesso), dependendo do tipo de cimento

Equação 10-

$E_{\text{ff. c}} = Q_{\text{c}} \times E_{\text{c}}$ onde: $E_{\text{ff.c}}$ é o total da emissão no processo
 Q_{c} é a quantidade de cimento
 E_{c} o valor encontrado na equação 9*

Equação 11 -

$E_{\text{tran. aço}} = \frac{d_{\text{tot}}}{d_{\text{h}}} \times Q_{\text{aço}} \times G$ onde: $E_{\text{tran.aço}}$ é o total da emissão no transporte
 d_{tot} é a distância total percorrida
 d_{h} é a distância percorrida em uma hora
 $Q_{\text{aço}}$ é a quantidade de aço
 G valor encontrado para emissão por quilograma

Equação 12 -

$$E_{\text{tran. areia}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_{\text{areia}} \times H$$

onde: $E_{\text{tran. areia}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

Q_{areia} é a quantidade de areia

H valor encontrado para emissão por quilograma

Equação 13 -

$$E_{\text{tran. br}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_{\text{br}} \times I$$

onde: $E_{\text{tran. br}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

Q_{br} é a quantidade de brita

I o valor encontrado para emissão por quilograma

Equação 14 -

$$E_{\text{tran. c}} = d_{\text{tot}}/d_h \times Q_c \times J$$

onde: $E_{\text{tran. c}}$ é o total da emissão no transporte

d_{tot} é a distância total percorrida

d_h é a distância percorrida em uma hora

Q_c é a quantidade de cimento

J o valor encontrado para emissão por quilograma

Equação 15 -

$$E_{s/c} = E_1 / V_{\text{trans.}}$$

onde: $E_{s/c}$ é o total da emissão sem carga

E_1 total de CO_2 gerado pelo veículo (eq. 1)

V_{trans} é volume de insumos transportados

A tabela 12 apresenta os valores encontrados para a produção de 1m³ do concreto da obra estudada. Os valores foram obtidos após a aplicação das equações propostas no trabalho.

Tabela 12 – Emissão de CO₂e X Produção de 1m³ concreto

Processo	Emissão de CO₂e (kg)
Extração do Aço	0,11
Transformação do Aço	103,66
Transporte do Aço	13,74
Extração da Areia	2,01
Transporte da areia	5,83
Extração da Brita	3,11
Transformação da Brita	7,27
Transporte da Brita	2,72
Extração de Rocha para Cimento	1,49
Transformação em Cimento	279,15
Transporte do Cimento	13,09
Captação de Água	0,27
Transporte sem Carga	1,47
Total	433,92

Fonte: O Autor, 2011

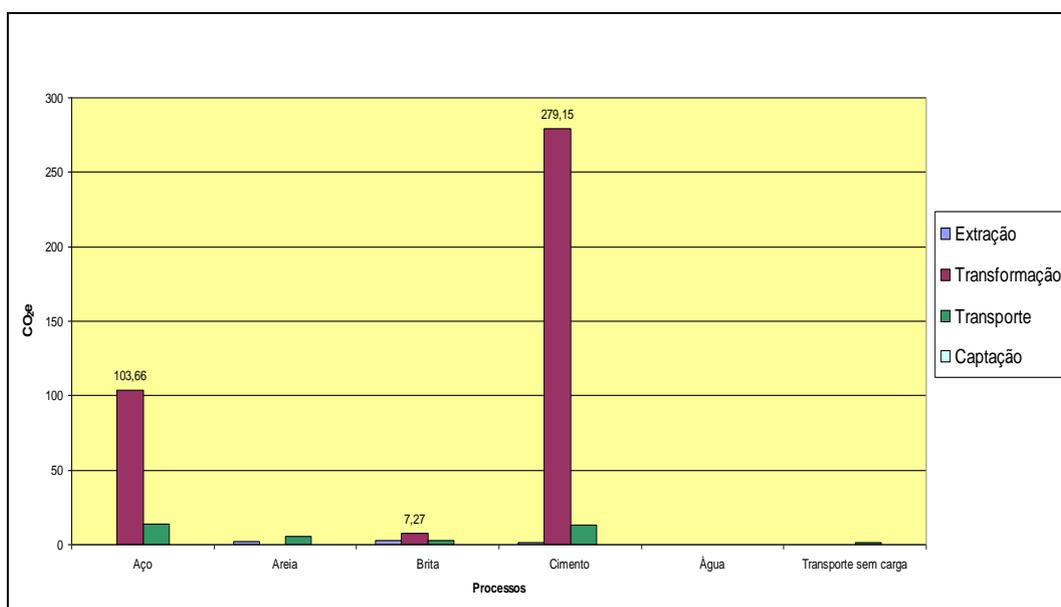
O Gráfico 5 ilustra as emissões de CO₂e realizadas para a produção de 1m³ de concreto armado na obra em análise.

Deve-se adicionar ao valor total o valor da emissão durante a mistura, amassamento e lançamento do concreto, da ordem de 7,61kg de CO₂e para cada m³ de concreto. Este valor foi encontrado no item 3.1.7, sendo chamado “K”. Obtém-se 441,53kg de CO₂e.

Tem-se que para a produção de um metro cúbico de concreto, na obra em estudo, foram emitidos:

441,53kg de CO₂e / m³

Gráfico 5 – Emissão de CO₂e no uso do concreto armado (kg)



Fonte: O autor, 2010.

Para cada bloco tem-se o consumo de 110m³ de concreto, o que chega a uma emissão de 48,60 toneladas de CO₂e por bloco. O total de emissão para a produção de peças em concreto armado do empreendimento Village das Palmeiras é 728,50 toneladas de CO₂e.

Em Gustavsson et al (2005) no estudo em um empreendimento com tipologia similar obteve-se uma emissão de 31,10t de CO₂e por tonelada de cimento utilizada.

Para Helene (2008), o valor de emissão considerado o ciclo do concreto e seus agregados fica na ordem de 630kg por metro cúbico de concreto. O valor é mais próximo do resultado dos cálculos do presente estudo. Esses valores devem ser analisados à luz da janela de abrangência do estudo, pois são diversas as variáveis que interferem no resultado final.

Analisando os resultados, segundo a média mundial dos valores negociados em créditos de carbono, US\$ 10,00 por tonelada (CHEN, 2003), o empreendimento possui um débito ambiental com possibilidade de ser revisto e negociado, considerando somente intervenções nos processos que envolvem o concreto armado.

Os valores encontrados neste estudo nos permitem chegar a algumas conclusões sobre procedimentos que podem minimizar os impactos causados. A seguir, analisa-se essas considerações sobre o estudo de caso.

4.5 Análise dos resultados obtidos

Na cidade de São Luís, o déficit habitacional gera um grande espaço de trabalho para as empresas construtoras. Este fato se reforça devido à falta de industrialização da cidade, sendo o setor habitacional o grande filão de trabalho para as construtoras locais.

Fatores de urbanização da cidade e facilidades na aquisição de terrenos direcionam o crescimento para bairros que ainda dispõem de grandes áreas, como o Turu. Esse bairro possui uma boa malha de transportes e é próximo do centro de negócios da capital maranhense.

A contextualização da construção civil na cidade permite escolher um empreendimento que represente as afirmativas apresentadas neste estudo. A importância da apresentação visa demonstrar que os principais insumos utilizados e tipologias construtivas podem ser um modelo para uso em outros países.

O capítulo permitiu utilizar as condições propostas no capítulo 3. A partir de uma obra similar às construções financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, tida como habitação de interesse social, foram estabelecidos os valores para a emissão de CO₂e na produção de um metro cúbico de concreto armado.

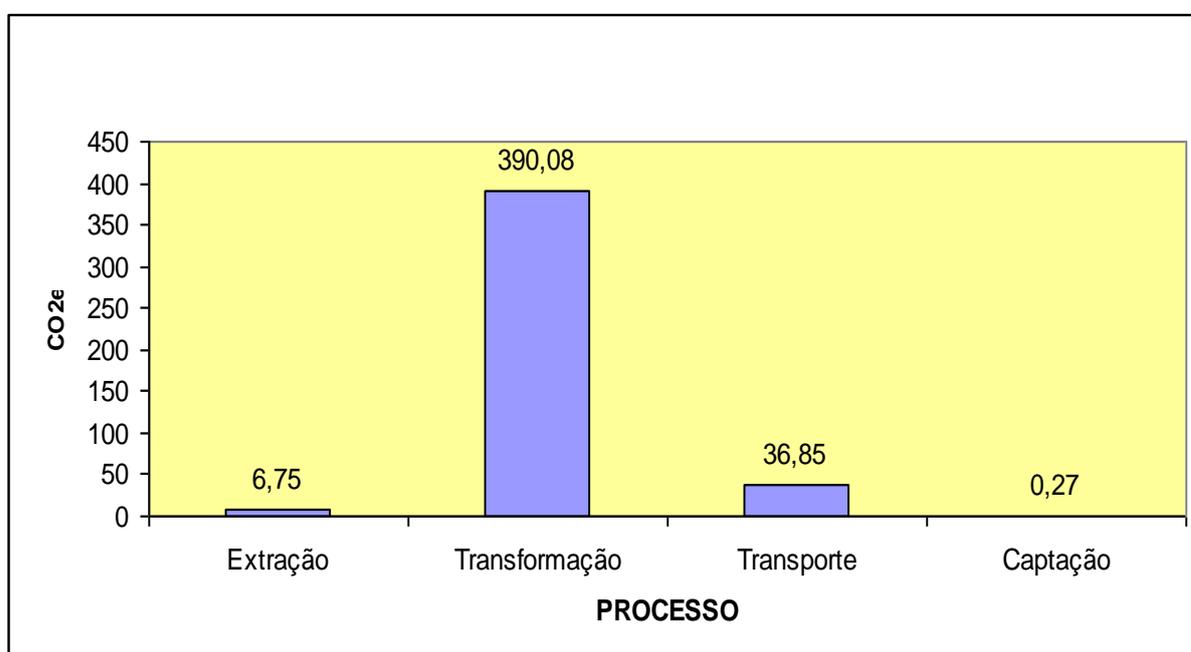
Trata-se de um estudo de caso sobre tipologia construtiva que vem prevalecendo no modelo para edificações adotado na cidade. Este modelo busca suprir o déficit habitacional com grande rapidez atendendo a metas estabelecidas pelo governo nacional.

A obra em si serve como fundamentação para estudos sobre emissões de CO₂e ao longo de todo o ciclo de vida da produção de peças de concreto armado em edificações que seguem os padrões estabelecidos pela NBR 12.721/06, Projeto de Interesse Social.

Os resultados obtidos servem também para identificar as etapas de produção do concreto armado que emitem maior quantidade de CO₂e. Podendo ser desprezadas algumas etapas do processo produtivo com emissão sem relevância.

Constata-se que as fases de maior produção ocorrem durante o processo de transformação (Gráfico 6). Logo, cabe ao projetista que deseja aumentar a sustentabilidade da edificação buscar soluções alternativas para reduzir ou substituir insumos muito poluentes.

Gráfico 6 – Emissão por processo (kg)



Fonte: O autor, 2010

Durante a etapa de transformação a maior contribuição vem da indústria de fabricação do cimento, onde mesmo o país detendo média de emissões inferiores a outros países, o valor ainda é o mais elevado dentre os encontrados nos ciclos de vida dos insumos analisados.

No Estudo de Caso, considerando as emissões relacionadas somente ao cimento, tem-se para um bloco o valor de 0,70t de CO₂e por tonelada de cimento, sendo de 10,44t de CO₂e por tonelada de cimento o total para o empreendimento.

Em Gustavsson et al (2005) no estudo em um empreendimento com tipologia similar construído na Europa, obteve-se uma emissão de 31,10t de CO₂e por tonelada de cimento utilizada. Este valor é maior que o encontrado para a obra estudada, o que mostra os bons resultados gerados pelas alterações no processo de

fabricação do cimento, com redução do percentual de clínker em virtude de adequações das normas vigentes no Brasil.

A emissão de 441,53kg de CO₂e para cada metro cúbico de concreto é um valor inferior ao encontrado em outros estudos. Para Helene (2008) o valor de emissão considerado o ciclo do concreto e seus agregados fica na ordem de 630kg por metro cúbico de concreto. O valor está próximo do resultado dos cálculos do presente estudo. As diferenças se devem a tipos de cimento utilizados no estudo, origem dos valores adotados para os processos de transformação, distâncias e padrões construtivos.

Estes valores devem ser analisados a luz da janela de abrangência do estudo, pois são diversas as variáveis que interferem no resultado final.

Analisando os resultados segundo a média mundial dos valores negociados em créditos de carbono, US\$ 10,00 por tonelada (CHEN, 2003), o empreendimento possui um débito ambiental com possibilidade de ser revisto e negociado, considerando somente intervenções nos processos que envolvem o concreto amado.

Conclui-se que devem ser tomadas novas medidas para reduzir as emissões. Como um exemplo desta possibilidade de redução, tem-se a associação do cimento a outros insumos, em percentuais permitidos pela legislação vigente, e reduzindo a quantidade de clínker queimado para geração de cimento durante o processo fabril. Fairbairn et al (2010) apresentam estudo sobre a associação com material pozolânico, comprovando as possibilidades de intervenção para otimização do processo.

Em Cordeiro (2006) encontra-se redução de até 50% nas emissões, em virtude do uso de material pozolânico associado ao clínker, obtendo até 126kg de CO₂e para cada tonelada de concreto convencional. O valor não pode ser comparado ao encontrado neste estudo, onde é adicionada escória de alto-forno ao clínquer.

Portanto, os valores relacionados às emissões do concreto dependem do teor e do tipo de cimento utilizado, bem como, dos índices de perda e processos de produção.

Na análise das emissões relacionadas à transformação do aço usando alto-forno, esta pode ser substituída por processos elétricos. O aço é um material

que pode ser quase todo reciclável, reduzindo as quantidades de emissão de gases nesta etapa do ciclo de vida.

As etapas de extração e de transporte, ligadas diretamente à utilização de veículos e equipamentos, são responsáveis por 9% da emissão de CO₂e deste estudo. Neste caso, cabe ao projetista apenas buscar alternativas para adequar os materiais usados em uma obra, usando insumos que estejam mais próximos da mesma. Aqui se fala de adotar materiais regionais, diminuindo as distâncias a serem percorridas, e conseqüentemente, a emissão de gases.

Verifica-se, dessa forma, que ao projetista cabe todo o planejamento da obra, desde o gerenciamento da origem de insumos, distâncias a serem percorridas com o transporte de materiais e tipos de materiais empregados. Enfatizando que a responsabilidade pela edificação vai além do mero processo construtivo.

Torna-se cada vez mais imprescindível a adoção de um gerenciamento ambiental, com a inovação de processos que considerem medidas que atuem na obra de forma analítica.

O processo de busca por uma construção sustentável deve ser feito antes de iniciada a obra, no escritório de projeto, sendo a execução da edificação o ato de cumprir as especificações estabelecidas.

Assim, conclui-se que no caderno de encargos de uma obra, parte escrita do projeto (ABNT, 1992b), já podem vir designadas exigências sobre tipos de insumos a usar e sobre a origem dos mesmos, atendendo a requisitos que permitam atingir as condições de sustentabilidade pré-estabelecidas para o empreendimento.

O resultado encontrado nos dá 0,44 toneladas de CO₂e emitido para cada 1m³ de concreto. Este valor, se engajado em um projeto de neutralização ou redução, pode vir a gerar em média U\$ 10,00 – dez dólares por cada tonelada de CO₂e, ou de uma forma mais interessante para a indústria da construção, dez dólares por metro cúbico de concreto sem emissão.

O valor de 441,53kg de CO₂e para cada metro cúbico de concreto usado na obra estudada pode sofrer variações em função, sobretudo, da otimização de processos. No entanto, a memória de cálculo serve como um modelo para os ajustes que forem necessários quando da aplicação da metodologia.

O capítulo que segue apresenta as considerações finais sobre este trabalho comparando a proposta a que se dispõe o estudo com os resultados finais obtidos.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo estabelecer o custo ambiental incorporado à produção de edificações multifamiliares. Para isso, realizou-se um estudo sobre o concreto armado – sistema construtivo típico das cidades brasileiras, mais particularmente da cidade de São Luís do Maranhão.

O trabalho se propôs a determinar a quantidade de CO₂e que é emitido durante a produção de um metro cúbico de concreto armado. Os dados foram analisados e tratados desde a fase de extração dos insumos que compõem uma peça em estrutura de concreto.

Em primeiro lugar, levantou-se a discussão sobre a busca mundial por um desenvolvimento sustentável, o que em sequência natural acaba chegando, embora com atraso, à indústria da construção civil.

Foram apresentadas experiências internacionais em países desenvolvidos, onde mesmo sem grandes problemas sociais ou econômicos, ficou claro que qualquer procedimento intervencionista em um processo deve ser feito de forma democrática e com o apoio das esferas que detém o poder.

Esta experiência internacional sugere o uso de metodologias de avaliação de desempenho ambiental e a liberação de incentivos financeiros, com o intuito de fazer com que o setor construtivo saia da situação de comodidade e busque alternativas para minimizar os impactos que causa ao meio ambiente.

O Brasil vem adequando métodos de avaliação à sua realidade, deixando um campo bastante fértil para o aparecimento de modelos que supram as carências por indicadores que permitam estabelecer padrões para as construtoras do país.

Em nossa busca por contribuir com o setor construtivo nacional, procurou-se determinar as tipologias que melhor atendem os anseios da sociedade para que se atinja com rapidez as metas de construção de edificações populares, reduzindo o déficit habitacional.

Dessa forma, chegou-se ao que é conhecido como projeto de interesse social, devidamente respaldado pela legislação vigente, e onde prepondera o uso de concreto armado.

A análise, justificada no capítulo 2 do trabalho, com aplicação de curva ABC e estudos orçamentários, serviu para confirmar o concreto armado como sendo

o material de construção mais adotado nas construções do Brasil e, conseqüentemente na cidade de São Luís.

Assim, a partir de metodologia desenvolvida para a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro pela equipe CentroClima da Universidade Federal do Rio de Janeiro, buscou-se estabelecer modelo de cálculo para determinar não a emissão por quilometro rodado, mas a emissão gerada por quantidade de material produzido.

Fez-se uma adaptação do que propõe o trabalho da equipe Centro Clima, chegando aos valores de CO₂e emitidos para 1m³ de concreto armado lançado na edificação.

Como fator limitante ao resultado obtido, tem-se a possibilidade de mudanças nos processos analisados, o que de fato não o seria de todo negativo se gerasse a otimização dos ciclos de vida estudados.

Qualquer alteração para aumentar a sustentabilidade da produção de concreto armado em uma edificação permite que este trabalho contribua com a indústria da construção civil, pois, quando se propõe a mostrar o quanto de CO₂e é emitido o objetivo é o estabelecimento de ações para minorar estas emissões.

O estudo procurou aprofundar a busca por sustentabilidade na construção de edificações, dando um peso maior ao debate na medida em que sai da mera discussão e mostra resultados palpáveis e preocupantes.

As análises realizadas nos levam a estabelecer alguns parâmetros sobre a busca por um desenvolvimento com sustentabilidade dentro da indústria da construção civil. Qualquer metodologia de regulação e controle ambiental adotada pode melhorar o desempenho do setor, pois o Brasil ainda está muito atrasado neste segmento, se comparado a países da Europa.

Para o caso específico da redução na emissão de gases do efeito estufa, mais precisamente o CO₂e, equivalente a outros gases, tem-se como sugestão:

- Substituição de equipamentos movidos a combustível fóssil por movidos a energia elétrica, ou a partir de matriz energética originada de recursos renováveis. Uma vez que o valor encontrado para a emissão por quilograma no caso da energia elétrica é bem mais baixo que o da combustão por diesel, deve-se buscar o uso de veículos e equipamentos que utilizem eletricidade, desde que com rendimento similar;

- Substituição de insumos poluentes por insumos menos poluentes. Na etapa de concepção do empreendimento, projeto, é importante verificar as alternativas para a especificação dos materiais e insumos, buscando listar soluções menos prejudiciais ao ambiente;
- Intervenção no processo de fabricação de cimento e aço para otimizar a produção. Sendo os processos de maior emissão do CO₂e, qualquer alteração que leve à redução, como o uso de bagaço de cana para diminuir o consumo de cimento ou mesmo mudanças no processo produtivo do clínker, são fundamentais para minimizar os danos causados;
- Análise prévia, na fase de projeto, para escolha dos materiais e insumos adotados para a construção. A partir dos valores demonstrados, neste trabalho, para a emissão na fase de extração da areia, deve-se atentar para os processos que levem ao produto final a ser utilizado na obra. A areia explorada de outras formas, como de cava, utiliza outros equipamentos para extração, o que leva a valor de emissão diferente do encontrado. De maneira similar, deve-se atentar para a verificação dos processos em todos os materiais do orçamento de forma a evitar surpresas em relação ao custo ambiental;
- Verificar as distâncias para o transporte e processos produtivos dos materiais a serem utilizados na obra, tendo como exemplo o impacto gerado pelo modelo de extração da areia. Aqui, cabe ao projetista o trabalho minucioso de estabelecer a procedência do material ou insumo a ser utilizado na obra, tendo consciência da origem e dos processos produtivos adotados no ciclo de vida até o destino final;
- Capacitar os projetistas para esta nova etapa que deve integrar a ação de projetar uma edificação. Certamente, é preciso uma nova forma de conceber um projeto, levando a trabalhos que o projetista não está habituado a fazer. Torna-se importante capacitar este novo profissional para atender a esta nova realidade, ficando a sugestão para que seja inserida na formação universitária técnicas

de elaborar projetos que contemplem um desenvolvimento sustentável.

Conclui-se atribuindo ao projetista, ainda na fase de concepção da obra, a importante tarefa de zelar pelas condições de sustentabilidade a ser conferida a edificação.

O estudo possui limitações impostas pelo universo escolhido para análise. Não foram consideradas as contribuições de emissão do CO₂e no ciclo de vida da madeira utilizada como fôrma para as peças em concreto armado. Como informado no capítulo 2, a madeira não foi considerada devido a sua condição de recurso renovável e, sobretudo, devido a grande possibilidade de reuso na confecção de novas peças.

A matriz energética escolhida, hidroelétrica, buscou refletir de forma mais próxima a realidade encontrada na cidade de São Luís. As fórmulas apresentadas neste estudo permitem adequar o modelo de cálculo apresentado a qualquer outra realidade, desde que conhecida a quantidade de emissão de CO₂e por quilograma nesta nova matriz.

Outra limitação ao estudo foi o rendimento adotado para os veículos descritos na pesquisa. Novamente as fórmulas apresentadas permitem uma atualização para o uso da metodologia em situações onde o rendimento apresente valores diferenciados, como o caso de veículos em rodovias dos Estados Unidos ou do Canadá.

Vale lembrar que o estudo se refere ao uso do concreto armado em construções predominantemente em estrutura de concreto. Sistemas construtivos em alvenaria estrutural, ou estruturas metálicas, entre outros, devem ser objeto de novo estudo para determinar os níveis de emissão de CO₂e.

Mesmo mantendo o sistema construtivo, o valor encontrado fica condicionado a variáveis sensíveis, como a qualificação da mão-de-obra e o uso de novas tecnologias. No caso da qualificação da mão-de-obra, observou-se um esforço muito grande da indústria da construção civil em vencer este entrave.

O uso de tecnologias para diminuir o consumo de cimento pode ser encontrado em vários estudos, sendo uma realidade mundial. Projetos de produção do concreto reduzindo a quantidade de cimento e utilizando produtos orgânicos,

como bagaço de cana ou casca de coníferas, apresentam resultados positivos na contribuição para a redução de emissões a partir da fabricação de cimento.

Ao analisar o orçamento da obra, anexo 3, constata-se que os valores que compõem o preço final da edificação são obtidos a partir do preço pago pelos serviços adicionando-se o lucro.

O valor da obra não leva em consideração os custos ambientais em cada um dos processos do ciclo de vida dos insumos necessários à produção do concreto armado. A emissão de uma tonelada de CO₂e para cada metro cúbico de concreto é um valor bastante relevante, se considerado o uso do concreto armado no mundo, em relação a outros sistemas construtivos.

Para que a obra fosse produzida com sustentabilidade seria necessário adotar requisitos que busquem qualidade ambiental da edificação. Todo o escopo da obra, partindo do projeto, considera os custos imediatos como fator preponderante para a compra de materiais e contratação de serviços, contrariando o que se espera de um desenvolvimento sustentável.

Deve-se atentar para o fato de que o valor encontrado é relativo à análise feita em apenas um dos itens do orçamento, a produção de concreto armado, e, que uma vez aplicada metodologia similar sobre todo o orçamento da obra, certamente tem-se um valor significativo quando comparado ao custo total do empreendimento.

A relação direta da quantidade de materiais usados na produção do concreto armado e a emissão de gases geradores do efeito estufa, leva-nos a enfatizar a necessidade de reduzir desperdícios na construção, ainda muito elevados na indústria da construção civil, como demonstrado na tabela 2 deste estudo. A busca pela redução do desperdício não está condicionada somente à redução dos custos da obra e aumento do lucro, mas à redução do custo ambiental da obra.

A redução no desperdício representa menor uso de materiais e consequente economia na exploração dos recursos naturais, redução no transporte de materiais e menor emissão de gases. O desperdício do cimento, por exemplo, é apresentado na tabela 2 como em média de 56% durante um processo de construção no Brasil, valor elevado para um insumo que representa 5% da emissão de CO₂e no mundo.

Uma intervenção que resulte na redução do desperdício de cimento resulta na redução do custo da obra e redução do custo ambiental gerado pelo empreendimento.

Dessa forma, fica evidente a necessidade de uma análise prévia da obra, fase de projeto, para que se inicie um empreendimento conhecendo custos reais, considerando o custo ambiental, a serem alocados.

A aplicabilidade do método apresentado nesta dissertação é variada, já que uma vez estabelecida a média das emissões de CO₂e por metro cúbico de concreto, outros trabalhos podem utilizar o método ou mesmo apresentar complementações para este estudo.

REFERÊNCIAS

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Tipos de Cimento Portland**. Disponível em <www.abcp.org.br> Acesso: em fevereiro de 2011.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NORMA BRASILEIRA NBR - 5732. **Cimento Portland comum**. ABNT, 1991.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR -5735. **Cimento Portland de auto-forno**. ABNT, 1991b.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR -5736. **Cimento Portland pozolânico**. ABNT, 1991c.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR -5733. **Cimento Portland de alta resistência inicial**. ABNT, 1991d.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR - 5737. **Cimentos Portland resistentes a sulfatos**. ABNT, 1992.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR -12219. **Elaboração de Caderno de Encargos**. ABNT, 1992b.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR -11578. **Cimento Portland composto**. ABNT, 1997.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR - 12721. **Avaliação de Custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios**. ABNT, 2006.

_____ NORMA BRASILEIRA NBR - 6118. **Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. ABNT, 2007.

_____ NORMA BRASILEIRA ISO 14064. **Especificação e Orientação a Organização para Quantificação e Elaboração de Reletórios de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa**. Rio de Janeiro: ABNT , 2007.

_____ NORMA BRASILEIRA ISO 9001. **Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT , 2009.

_____ NORMA BRASILEIRA ISO 14040. **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT , 2009.

_____ NORMA BRASILEIRA ISO 14044. **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT , 2009.

AGOPYAN, Vahan; GOMES, Vanessa. JOHN, Vanderley M., **Agenda 21: Uma Proposta de Discussão para o Construbusiness Brasileiro**, ANTAC – Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2001.

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; MELLO, Claudia dos S,; CAVALCANTI, Yara. **Gestão Ambiental – Planejamento, Avaliação, Implantação, Operação e Verificação**. 2 ed. (rev. e atual.). Rio de Janeiro: Thex Editora, 2004.

ALVARES JR, Olimpio de Melo; LINKE, Renato Ricardo Antonio. **Metodologia simplificada de cálculos das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. Disponível em: <www.cetesb.com.br. 2009. Acesso em 29 de outubro de 2009

ANDRADE, Rui Otávio Bernardes de; TACHIZHAWA, Takeshy; CARVALHO, Ana Barreiros. **Gestão Ambiental – Enfoque Estratégico Aplicado ao Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Makron Books, 2002.

ANDRYSCO, Nathan; BENES, Bedrich; GURNEY, Kevin. **Interactive Poster: Visual Analytic Techniques for CO2 Emissions and Concentrations in the United States**. IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology. Ohio, USA, 2008.

ARAÚJO, Viviane Miranda. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável nos canteiros de obras**. (Dissertação de Mestrado), Universidade Politécnica de São Paulo, 2009

ARAÚJO, Guilherme Augusto Marques. **Avaliação dos ganhos em eficiência energética em iluminação adotando a regulamentação de etiquetagem em edificações**. USP, dissertação de mestrado. São Paulo, 2009b.

AULICINO, Patrícia. **Análise de métodos de avaliação de sustentabilidade do ambiente construído: O caso dos conjuntos habitacionais**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica: USP, 2008.

AZEREDO, Helio Alves. **O Edifício e seu acabamento – Prática de construção civil**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

AZEVEDO, Sérgio Lund; GUERRA, Fenanda Lamego. **Proposta de um índice para avaliação de desempenho em obras do programa de arrendamento residencial**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

BANCO ITAU. **Princípios para o consumidor ajudar a combater o aquecimento global**. 2010. Disponível em: <www.itau.com.br/ecomudanças> Acesso em março de 2010.

BARONI, Larissa Leiros; GALLI, Ana Paula. Ações conjuntas. **Revista Construção Mercado**. N.103, ano 63, fev./2010.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. Novos materiais para construção civil. vol. 1, 5º ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2003.

_____. **Materiais de Construção**. Novos materiais para construção civil. vol. 2, 5º ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2004.

BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução à Engenharia**. 6 ed. rev. e ampl. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.

BENNETT, Pey; SATTLE, Miguel. **Indicadores de sustentabilidade em habitação popular**. I Conferência latino-americana de construção sustentável. X Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. São Paulo, 18 e 21 de julho de 2004.2004

BEUREN, Miriam Oliveira; FREITAS, Henrique Mello. **Seleção de indicadores para tomada de decisões: A percepção dos principais intervenientes na construção civil**. PUCRS, REAd. Edição 19, vol 7 N°1. Fevereiro, 2000.

BONDUKI, Nabil. **Origens da Habitação Social no Brasil – Arquitetura Moderna, Lei do Inquilinato e Difusão da Casa Própria**. 4 ed. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

BORGES, Alberto de Campos. **Prática das pequenas construções**. v.1, 8 ed. (revista e ampliada), São Paulo: Edgard Bluche, 2004.

BORJESSON, Pal; GUSTAVSSON, Leif. **Greenhouse gás balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and Forest land-use perspectives**. Energy Policy, Elsevier, 1999.

BRAGA, Benedito et al., **Introdução à Engenharia Ambiental – O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2005.

BRASIL. **Agenda 21 brasileira** : resultado da consulta nacional / Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. 2. ed. Brasília : Ministério do Meio Ambiente, 2004.

_____. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social** - Cadernos Mocidades nº 9, Ministério das cidades e eletrobras , 2005.

_____. Ministério das Cidades. **PBQP-h – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do habitat**. Disponível em: <www.cidades.gov.br> [2009]. Acesso em outubro de 2009.

_____. **Norma Regulamentadora 18**. Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. 2008. Disponível em: <www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_18> Acesso em fevereiro de 2010.

_____. INMETRO. **Procel Edifica**. Disponível em: www.inmetro.gov.br. [2010]. Acesso em dezembro de 2010b.

_____. ELETROBRAS. **Procel Edifica**. 2010. Disponível em: <www.elektrobras.gov.br> Acesso em dezembro de 2010c.

_____. **Qualificação na indústria da construção**. Disponível em: <www.mte.gov.br/noticias>. 2011. Acesso em fevereiro de 2011.

_____. Ministério das Cidades. **PBQP-h – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do habitat**. Disponível em: <www.cidades.gov.br>. [2011b]. Acesso em fevereiro de 2011.

BROWN, M.T; ULGIATI, S. **Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems**. Journal of Cleaner Production, 321 – 334, 2002.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Balço do Programa Minha Casa Minha Vida**. Relatório operacional, 2010.

CARDOSO, Roberto Sales. **Orçamento de obras em foco**. Um novo olhar sobre a engenharia de custos. São Paulo: PINI, 2009.

CABREIRA, Cristiane Vieira B. **Patrimônio sustentável: a experiência francesa e a realidade brasileira. Reflexões para a preservação de edifícios históricos no Brasil segundo o referencial francês da Haute Qualité environnementale-HQE®**. Dissertação de mestrado, UFRJ/ FAU/ PROARQ. Rio de Janeiro, 2010

CARBONO BRASIL. **Créditos de carbono**. 2009 Disponível em: <www.carbonobrasil.com> Acessado em 14 de março de 2010b

CARVALHO, Claudia S Rodrigues. **O projeto de conservação preventiva do Museu Casa de Rui Barbosa**. Disponível em <www.casaruibarbosa.gov.br>. [2009]. Acesso em março de 2010.

CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Missão**. Acesso: fevereiro de 2011.

CENTROCLIMA. **Elaboração de Metodologias de Cálculos para Neutralização das Emissões de Gases do Efeito Estufa Oriundos da Construção Civil.** Relatório Equipe CentroClima / COPPE, Rio de Janeiro, 2008 (acesso restrito).

CETESB. **Relatório do Inventário Estadual de Fontes Fixas: Emissões de CO2.** São Paulo, 2007.

CHEN, Wenying. **Carbon Quota Price and CDM Potentials after Marrakesh.** ScienceDirect, 2003.

CIB, UNEP-IETC. The international council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB); United Nations Environment Programme International environmental Technology Centre (UNEP-IETC). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries.** A discussion document, 2002.

CLARK, Lauren; ADRIAENSSENS, Sigrid. **The True Cost Of Construction: An Analysis of The Carbon Dioxide Emission From The Materials Used In A Pedestrian Bridge.** Princeton University, USA, 2010.

CYBIS, Luiz Fernando. **Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil .** Estudo de Caso. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

CISILLAG, Diana. **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos.** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica de São Paulo, 2007.

COELHO, Ronaldo Sergio de Araújo. **Orçamento de obras prediais.** São Luís, UEMA, 2001.

CORBELLA, Oscar et al., **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos – Conforto Ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** Tese de doutorado, UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

DIAS, Reinaldo. **Gestão Ambiental – Responsabilidade Social e Sustentabilidade.** São Paulo: Editora Atlas, 2006.

DIDONET, S.R.; LARA, J.E.; JIMENÉZ, D.P. **Eficiencia Productiva y Estrategias en la Distribución Comercial: El Caso de los Supermercados Brasileños.** XXX Encontro da ANPAD. Anais..., Salvador, 2006.

ECHEBARRIA, Carmen; BARRUTIA, Jose; AGUADO, Itziar. **The ISC framework: modelling drivers for the degree of Local Agenda 21 implantation in Western Europe.** Environment and Planning, 41, 980 – 995, 2008.

FAIRBAIRN, Eduardo M. R.; AMERICANO, Branca B; CORDEIRO, Guilherme; PAULA, Thiago P; TOLEDO FILHO, Romildo; SILVOSO, Marcos M. **Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits.** Journal of Environmental Management, 1864 – 1871, 2010.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda; **Miniaurélio Século XXI Escolar.** 4 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2000.

FIDÉLIS, Teresa; PIRES, Sara Moreno. **Surrender or resistance to the implementation of Local Agenda 21 in Portugal: the challenges of local governance for sustainable development.** Journal of Environmental Planning and Management, 52: 4, 497 – 518, 2007.

FREITAS, Edianeaz Nascimento Gonçalves de Oliveira. **O desperdício na construção civil: caminhos para a sua redução.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1993.

FRONDIZI, Isaura; **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – Guia de Orientação.** Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES, 2009.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Processo AQUA.** Disponível em: <www.fundacaovanzolini.org.br> Acesso em fevereiro de 2011.

FURTADO, João Salvador. **Atitude ambiental responsável na construção civil: ecobuilding & produção limpa.** 1999. Disponível em: <www.lsi.usp.br/~prodlimp>. Acesso em fev., 2010.

GARCÍA – SÁNCHEZ, Isabel; LORENZO, José Manuel Prado. **Decisive factors in the creation and execution of municipal action plans in the field of sustainable development in the European Union.** Journal of Cleaner Production, 2008.

GERVÁSIO, Helena; SILVA, Luís Simões. **A sustentabilidade do aço.** V Congresso de Construção Metálica e Mista. Lisboa, 2005.

GIANNETTI, B F et al., **Cleaner production practices in medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference,** J Clean Prod (2007), doi:10.1016/j.jclepro.2007.06.002.

GIANNETTI, Biagio Fernando. ALMEIDA, Cecília M. V. B.; **Ecologia Industrial – Conceitos, Ferramentas e Aplicações,** São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2006.

GIELEN, Dolf; MORIGUCHI, Yuichi. **CO₂ In The Iron and Steel Industry: an analysis of japanase emission reduction potentials.** National Institute of Environmental Studies, Social and Environ. Japan, 2002.

GOMES, Vanessa da Silva; SILVA, Maristela Gomes da; AGOPYAN, Vahan., **Avaliação de Edifícios: Definição de Indicadores de Sustentabilidade**, III ENECS – Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2003.

GROHMANN, Márcia Zampieri. **Redução do desperdício na construção civil: Levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria**. Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 1998.

GUSTAVSSON, Leif; SATHRE, Roger. **Variability in Energy and Carbon Dioxide Balances of Wood and Concrete Building Materials**. Building and Environment, Elsevier, 2005.

HELENE, Paulo. **Concreto e Sustentabilidade**. Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. 2008.

HENRIQUES JUNIOR, Maurício Francisco. **Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro**. Tese de doutorado. UFRJ / COPPE. Rio de Janeiro, 2010.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Vol 1-3. Intergovernmental Panel on Climate Change. Bracknell, United Kingdom, 2006.

JACOMIT, Ana Mitsuko; GRANJA, Ariovaldo Denis; SILVA, Vanessa Gomes. **Construções sustentáveis realmente precisam custar mais do que construções convencionais?** VI SIBRAGEC- VI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. 2009.

JOHN, Vanderley M. CSILLAG, Diana. **Análise das Práticas para Construção Sustentável na América Latina**, ENTAC, 2006.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan; ABIKO, Alex; PRADO, Racine; GONÇALVES, Orestes; SOUZA, Ubiraci. **Agenda 21 for the Brazilian construction industry – a proposal**. Escola Politécnica: USP, 2001a.

_____; SATO, N.M.; SJÖSTRÖM, C. **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira**. Workshop sobre durabilidade das construções, Instituto Tecnológico da Aeronáutica: São Paulo, 2000.

KOHLER, Maria Cláudia Mibielli. **Agenda 21 Local: Desafios de sua Implantação. Experiência de São Paulo, Rio de Janeiro, Santos e Florianópolis**. Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2003.

LAI, Shaoyuan; YANG, Yu Daí; HAN, Lei. **A Model for CO2 Emission Tax and the Government Control in Electric Power Supply Chain**. IEEE T&D Asia, 2009.

LIMA, José Antônio. USP- Relatório Departamento de Engenharia, São Paulo, 2010.

_____. **Avaliação das conseqüências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** Tese de doutorado, EPUSP. São Paulo, 2010b.

LIMA, Genildo Jerônimo; PAULINO, Ana Adalgisa Dias; OLIVEIRA, Maria Luíza Lopes. **O Desperdício na construção civil do Rio Grande do Norte: Um estudo de caso em revestimento cerâmico.** III SIBRAGEC. São Carlos, São Paulo, 2003.

LIMMER, V. C. **Planejamento, Orçamentação e Controle de projetos e obras.** Rio de Janeiro: LCT, 1997. 39 p.

LORDSLEEM JR, Alberto Casado; NEVES, Maria Luiza Rodrigues. **Programa obra monitorada: monitoramento dos indicadores de perdas de blocos de concreto e argamassa no serviço de alvenaria.** VI SIBRAGEC- VI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2009.

LUTZKENDORF, Thomas; LORENZ, David. **Sustainable property investment: valuing sustainable buildings through property performance assessment.** Building Research & Information, 212 – 234, 2005.

MARANHÃO. **Fórum Municipal do meio ambiente.** Período de junho de 1999 a setembro de 2000. Câmara de Vereadores de São Luís, 2000.

_____. **São Luís Ilha do Maranhão e Alcântara: Guia de arquitetura e paisagem.** Ed. Bilíngüe. Sevilla: Cosejería de Obras Públicas y Transportes, 2008.

MARCOS, Micheline Helen Cot. **Análise da Emissão de CO2 em Edificações através do uso de uma Ferramenta CAD-BIM.** UniCuritiba, Curitiba, 2009.

MARELLI, A. Galliani. **Avaliação de requisitos para o desenvolvimento de sistemas de indicadores de desempenho em obras de construção civil sob o recorte de rede de empresas.** (Dissetação de Mestrado), Universidade São Carlos, 2005.

MATTOS, Aldo Doréa. **Como preparar orçamentos de obras.** São Paulo:PINI, 2006.

MEILLAUD F. et al., **Evaluation of the Solar Experimental LESO building using the emergy method,** Master thesis, Swiss Federal Institute of Thecnology, Lausanne, 2007.

MELHADO, Silvio Burrattino; AGOPYAN, Vahan. **O conceito de projeto na construção de edifícios: Diretrizes para sua elaboração e controle.** Boletim Técnico, Escola Politécnica de São Paulo, 1995.

MESEGUER, Álvaro Garcia. **Controle e Garantia da Qualidade na Construção.** São Paulo: SINDUSCON, 1991.

NEVES, Idécio França; NETO, Ernesto Spornadio. **Estudo de Dosagem Racional de Concreto Comum**. PUC, Paraná, 1999.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1996.

OLIVEIRA, Ana Maria de Sousa Santana.et al, **Avaliação de modelo de treinamento na construção civil: estudo com operários de obras**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

OLIVEIRA, Roberta Fernandes. **Formação e gerência de rede de empresas: requisitos organizacionais baseados em morfologia e tipologia**. Universidade de São Paulo - USP, dissertação de mestrado. São Paulo, 2004.

ONU, U.N. **United Nations Conference on environment e development – Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992.

PADE, Claus; GUIMARÃES, Maria. **The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective**. ScienceDirect, 1348 – 1356, 2007

PATZLAFF, Jefeson Osi. **Avaliação da sustentabilidade em empreendimentos de construtoras de micro e pequeno porte no vale do CAI, RS**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Materiais de Construção**. 11 ed. São Paulo: Globo 1998.

PICCHI, F. Augusto; AGOPYAN, Vahan. **Sistemas da Qualidade na Construção de Edifícios**. Boletim Técnico, Escola Politécnica de São Paulo, 1993.

PINHEIRO, Gustavo Focesi. **O gerenciamento da construção civil e o desenvolvimento sustentável; Um enfoque sobre os profissionais da área de edificações**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas: São Paulo, 2002.

PRADO, Danilo Mascarenhas. **Propriedade físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto**. USP, São Carlos (Dissertação de mestrado). São Paulo, 2006.

PULSELLI, R.M.; Simoncini, E.; Pulselli, F.M.; Bastianoni, S., **Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building índices to evaluate housing sustainability**. Energy and Buildings 39, 2007, p. 620-628.

PULSELLI, R.M.; Simoncini, E.; Ridolf, R.; Bastianoni, S., 2008. **Specific emergy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport**. Ecological Indicators 8, 647 – 656.

REBENNACK, Steffen; ILIADIS, Niko; **Electricity and CO2 Emissions System Prices Modeling and Optimization**. IEEE Bucharest Power Tech Conference, 2009.

REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO. **Construção de São Paulo demanda 50 mil operários**. Revista Construção Mercado. N. 104, ano 63, março/2010.

REVISTA DO CONFEA, número 20, outubro, novembro e dezembro.2004.

REVISTA NOVATÉCNICA. **Sistemas de certificação se adaptam à realidade brasileira**. N. 100, dezembro/2008.

RIPPER, Ernesto. **Manual Prático de Materiais de Construção**. Recebimento, transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação. São Paulo: Ed. Pini, 1995.

RODRIGUES, Edmundo. **Dosagem do Concreto**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

SALIM, Marcelo. Leilão de carbono. **Revista Brasil Econômico**. 2010. Disponível em <www.brasileconomico.com.br> Acessado em 27 de fevereiro de 2010.

SAN MARTIN, A. P.; FORMOSO, C. T. **Método de avaliação de sistemas construtivos para a habitação de interesse social sob o ponto de vista da gestão de processos de produção**. In: 7º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998, **Anais...**, Florianópolis.

SANTANA, A. Brandão. **Proposta de Avaliação dos Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras**. Dissertação de mestrado: Escola de Engenharia de São Carlos / USP. São Paulo, 2006.

SANTOS, A.; FORMOSO, C. T.; TOOKEY, J. E. Expanding the meaning of standardization within construction process. **The TQM Magazine**, York, Engl., v. 14, n. 1, p. 25-33, 2002.

SANTOS, D. G. **Modelo de gestão de processos na construção civil para identificação de atividades facilitadoras**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

SANTOS, Andressa de Aguiar; CHAGAS, Ana Paula Aguiar. **Análise do setor de recursos humanos na construção civil na cidade de Belém**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

SCIPIONI, Antonio; MAZZI, Anna; MASON, Marco; MANZARDO, Alessandro. **The Dashboard of Sustainability to measure the local urban sustainable development: The case study of Padua Municipality**. ScienceDirect, 364 – 380, 2008.

SEIFFERT, Mari Elizabete Benardini. **Gestão ambiental**. Instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. São Paulo: Atlas, 2007.

SERRADOR, Marcos Eduardo. **Sustentabilidade em arquitetura: Referências para projeto**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos: USP, 2008.

SILVA, V. Gomes; SCHILLER, Sílvia; GOIJBERG, Norman; TREVIÑO, César. **Sustainable Building: Implementation in Latino American context**. The 20^o Conference on Passive and Low Energy Architecture: Santiago, 2003.

SINDUSCON. Desenvolvimento – Surge uma nova cidade. **Revista SINDUSCON MARANHÃO**, n.1, novembro e dezembro, 2008.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **A Indústria do Cimento no Cenário das Mudanças Climáticas**. 2009.

SJUNNESSON, Jeannette. **Life cycle assessment of concrete**. Master Teses. Lund University: Sweden, 2005.

SOUSA, Ubiraci Espinelli Lemes de; KATO, Camila Seiço. **Comparação de métodos utilizados no prognóstico de custos de edifícios habitacionais: CUB e estimativa paramétrica**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

SOUSA, Ubiraci E. Lemes de. **Projeto e implantação do canteiro**. São Paulo: O nome da Rosa, 2000.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THE CLUB OF ROME, **Mission and Activities of the Club of Rome**. Disponível em: <www.clubofrome.org> Acesso: fevereiro de 2011.

TIECHER, Franciele; PANDOLFO, Luciana Marcondes **Concreto: Comparação entre Métodos Experimentais de Dosagem**. XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica - Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2003.

TOZADORI, André Camargo. **Conservação do ambiente, criminalização e percepção da sociedade**. Dissertação de mestrado – ESALQ / USP, Piracicaba, 2010.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para Dosagem de Concretos Auto-Adensáveis**. Dissertação de Mestrado. UFRG, Rio Grande do Sul, 2004.

UNFCCC, 2009. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int>.

VALLE, Cyro Eyer do. **Como se preparar para as ISO 14000**. Qualidade ambiental. O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. 2 ed. atual. São Paulo: Pioneira, 1996.

VERGNA, J.R. **Formação e gerência de redes de empresas de construção civil: sistematização de um modelo de atores e recursos para obras de edificações**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

VIEGAS, Leila Soares; TEIXEIRA, Eduardo da Cruz. **Diagnóstico do processo de fabricação dos elementos estruturais de concreto Pré-fabricado: um estudo de caso**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. 10 ed. (revisada e atualizada). São Paulo: PINI, 2009

YOSHIDA, Fernando Norio, et al, **Análise dos fatores influentes na adesão ao padarão na construção civil**. VI SIBRAGEC. João Pessoa: ANTAC, 2009.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. **Integração dos princípios da sustentabilidade ao projeto de arquitetura**. (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

ZENITE. **Manual de Equipamentos de Mineração**. Disponível em www.zenite.com.br. Acesso: outubro de 2010.

ANEXOS

ANEXO 1 - Lote Básico por metro quadrado de construção / PP- 04

PIS - LOTE BÁSICO POR METRO QUADRADO DE CONSTRUÇÃO							
Descrição	unidade	quantidade	Valor R\$	Total	%	% acumulado	Classificação
Concreto fck = 25MPa abatimento 5+-1cm, br. 1 e 2 pré-dosado	m3	0,09	R\$ 339,05	R\$ 339,05	22,48%	22,48%	A
janela de correr tamanho 1,20x1,20m em 2 folhas, em perfil de chapa de ferro dobrada n°20, com tratamento em fundo anticorrosivo	m²	0,18	R\$ 254,17	R\$ 254,17	16,85%	39,32%	A
bancada de pia de mármore branco 2,00 m x 0,60 x 0,02	u	0,03	R\$ 179,36	R\$ 179,36	11,89%	51,21%	B
bacia sanitária branca com caixa acoplada	u	0,04	R\$ 128,36	R\$ 128,36	8,51%	59,72%	B
Tubo de PVC-R rígido reforçado para esgoto D-150mm	m	20,70	R\$ 108,55	R\$ 108,55	7,20%	66,92%	B
porta interna semi-oca para pintura 0,60 x 2,10m	u	0,17	R\$ 77,75	R\$ 77,75	5,15%	72,07%	B
Servente	h	8,85	R\$ 76,95	R\$ 76,95	5,10%	77,18%	B
disjuntor tripolar 70A	u	0,43	R\$ 70,00	R\$ 70,00	4,64%	81,82%	B
fechadura para porta interna, tráfego moderado, tipo IV (55mm), em ferro, acabamento cromado	u	0,09	R\$ 46,74	R\$ 46,74	3,10%	84,91%	B
areia média	m³	0,13	R\$ 45,17	R\$ 45,17	2,99%	87,91%	B
registro de pressão cromado D- 1/2"	u	0,20	R\$ 38,10	R\$ 38,10	2,53%	90,43%	C
chapa compensado plastificado 18mm 2,20 x 1,10mm	m²	0,69	R\$ 28,92	R\$ 28,92	1,92%	92,35%	C
placa cerâmica (azulejo) de dimensão - 30cm x 40cm, PEI II, cor clara, imitando pedras naturais	m²	0,20	R\$ 24,45	R\$ 24,45	1,62%	93,97%	C
placa de gesso liso 0,60 x 0,60m	m²	2,14	R\$ 22,45	R\$ 22,45	1,49%	95,46%	C
vidro liso transparente 4mm colocado com massa	m²	76,95	R\$ 20,70	R\$ 20,70	1,37%	96,83%	C
tinta látex PVA	l	9,87	R\$ 14,59	R\$ 14,59	0,97%	97,80%	C
tubo de ferro galvanizado com costura D- 2 1/2"	m	108,55	R\$ 9,87	R\$ 9,87	0,65%	98,45%	C
locação de betoneira 320l	dia	0,14	R\$ 9,09	R\$ 9,09	0,60%	99,06%	C
Aço CA-50 D 10mm	kg	7,69	R\$ 3,60	R\$ 3,60	0,24%	99,30%	C
Pedreiro	h	21,74	R\$ 3,00	R\$ 3,00	0,20%	99,49%	C
bloco de concreto sem função estrutural 19x19x39cm	u	14,40	R\$ 2,28	R\$ 2,28	0,15%	99,65%	C
telha fibrocimento ondulada 6mm 2,44 x 1,10mm	m²	14,59	R\$ 2,14	R\$ 2,14	0,14%	99,79%	C
emulsão asfáltica impermeabilizante	kg	0,73	R\$ 2,02	R\$ 2,02	0,13%	99,92%	C
fio de cobre antichama, isolamento 750V, #2,5mm²	m	35,20	R\$ 0,70	R\$ 0,70	0,05%	99,97%	C
cimento CP-32 II	kg	40,91	R\$ 0,49	R\$ 0,49	0,03%	100,00%	C
				R\$ 1.508,50	100,00%		

FONTE: Adaptado de ABNT NBR 12721/2006 e TCPO - 2008.